DETMER,

Das

Pflanzenphysiologische

Praktikum.

Jena, Verlag v. Gustav Fischer.

Dr. W. DETMER.

DAS PFLANZENPHYSIOLOGISCHE PRAKTIKUM.

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

DAS PFLANZENPHYSIOLOGISCHE PRAKTIKUM.

ANLEITUNG
ZU PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN

FÜR

STUDIRENDE UND LEHRER DER NATURWISSENSCHAFTEN

VON

Dr. W. DETMER,

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT JENA.

MIT 131 HOLZSCHNITTEN.

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1888.

4689
7/1/88

3410
2015/90

Vorwort.

Für denjenigen, welcher sich eingehender mit pflanzenphysiologischen Studien beschäftigen will, genügt es keineswegs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie zu hören oder Lehrbücher dieser Disciplin durchzuarbeiten, sondern er muss vor allem bestrebt sein, die Untersuchungsmethoden aus eigener Erfahrung kennen zu lernen. —

Die Pflanzenphysiologie ist heute für die Ausbildung der Studirenden der Naturwissenschaften, der Land- sowie Forstwirthschaftswissenschaft und der Medicin von einer so hervorragenden Bedeutung geworden, dass man bestrebt sein sollte, dem genannten Unterrichtsgegenstande auf den Universitäten und anderen höheren Lehranstalten eine grössere Aufmerksamkeit zuzuwenden, als bisher geschieht. Vor allem erscheint es zweckmässig, pflanzenphysiologische Uebungen für die Studirenden einzurichten, und da ich an der Universität Jena selbst ein solches Praktikum mit sehr günstigem Erfolg eingeführt habe, weiss ich aus Erfahrung, dass die auf den ersten Blick bedeutend erscheinenden Schwierigkeiten des Unternehmens recht gut zu überwinden sind.

In dem vorliegenden Buche habe ich mir die Aufgabe gestellt, nach Kräften zur Förderung des pflanzenphysiologischen Studiums beizutragen. Das „pflanzenphysiologische Praktikum" ist aber keineswegs ausschliesslich zum Gebrauch für Studirende bestimmt, sondern ich denke, dass dasselbe auch manchem Lehrer an höheren Schulen willkommen sein dürfte. Die Botanik bildet aus zahlreichen Gründen einen ganz besonders geeigneten Lehrgegenstand für die Schule, und dem botanischen Unterricht kann durch die Vorführung einer Reihe physiologischer Experimente ein ganz eigenartiger Reiz sowie eine erhöhte Bedeutung für die Geistesbildung der Jugend verliehen werden.

Was die Anordnung des Stoffs im vorliegenden Buche anbelangt, so ist dieselbe freilich nicht genau, aber doch im Wesentlichen in derselben Weise wie in meinem 1883 im Verlage von E. Trewendt in Breslau erschienenen Lehrbuche der Pflanzenphysiologie durchgeführt

worden. Theoretische Erörterungen, denen in der zuletzt genannten Schrift naturgemäss ein ziemlich breiter Raum gegeben werden musste, fehlen in der vorliegenden fast völlig.

Die Arbeit, welche ich in den letzten vier Jahren zur Herstellung des „pflanzenphysiologischen Praktikums“ aufwandte, ist eine sehr erhebliche gewesen. Vor allem kam es für mich darauf an, eine grosse Zahl der verschiedenartigsten pflanzenphysiologischen Experimente und mikroskopischen Beobachtungen selbst auszuführen, um zu einem möglichst selbständigen Urtheil über den Werth und die Brauchbarkeit der Untersuchungsmethoden zu gelangen. Ueberall ist besonderes Gewicht auf die Feststellung der Beziehungen zwischen dem anatomischen Bau sowie der physiologischen Function der Pflanzenorgane gelegt worden, und ebenso sind die biologischen Verhältnisse nicht unberücksichtigt geblieben.

Ich habe mich bemüht, denjenigen Apparaten, welche in diesem Buche zur Ausführung der physiologischen Untersuchungen in Vorschlag gebracht werden, eine möglichst einfache Form zu geben, damit dieselben von jedem ohne grosse Mühe zusammengestellt werden können; gewisse complicirtere und daher auch werthvollere Instrumente, z. B. gute Mikroskope, eine chemische Wage, ein Spectroskop, einen Inductionsapparat, einen Klinostaten etc., kann man bei pflanzenphysiologischen Untersuchungen freilich nicht entbehren.

Jena, Ende September 1887.

W. Detmer.

Inhalts-Uebersicht.

Erster Theil.

Physiologie der Ernährung.

Erster Abschnitt.

Die Nährstoffe der Pflanzen.

I. Der Assimilationsprocess.

Seite

1. Constatirung der Thatsache, dass grüne Pflanzen organische Substanz aus anorganischem Material zu erzeugen vermögen 3
2. Die Production organischer Substanz in der grünen Pflanzenzelle unter dem Einfluss des Lichtes 6
3. Die Assimilationsorgane 6
4. Die Durchleuchtung der Pflanzengewebe 10
5. Die Chlorophyllkörper 12
6. Der Chlorophyllfarbstoff 15
7. Das Absorptionsspectrum und die Fluorescenz des Chlorophyllfarbstoffes . . 16
8. Die Zersetzung des Chlorophyllfarbstoffes 19
9. Die herbstliche Färbung der Blätter und die winterliche Färbung ausdauernder Pflanzentheile 22
10. Die Entstehung des Chlorophyllfarbstoffes 23
11. Die Sauerstoffproduction bei der Assimilation 26
12. Die Kohlensäure und der Assimilationsprocess 29
13. Volumetrische Verhältnisse des Gaswechsels bei der Assimilation . . . 31
14. Der makro- und mikrochemische Nachweis von Stärke in den Assimilationsorganen 33
15. Die Assimilationsproducte 34
16. Die Abhängigkeit der Stärkebildung bei der Assimilation von äusseren Verhältnissen 36

II. Die Entstehung der Eiweissstoffe in den Pflanzen.

17. Das Wesen des Processes der Bildung stickstoffhaltiger organischer Stoffe in den Pflanzen 39
18. Vermag die Pflanze den freien Stickstoff der Atmosphäre zur Bildung von Eiweissstoffen zu verwerthen? 41
19. Der Nachweis des Ammoniaks und der Salpetersäure im Wasser und in der Pflanze 43
20. Die Salpetersäure als Pflanzennahrungsmittel 44
21. Das Ammoniak als Pflanzennahrungsmittel 45
22. Der Ort der Eiweissbildung in den höheren Pflanzen 45
23. Die Zersetzung der Nitrate in den Pflanzen 46

Seite

III. Die Aschenbestandtheile der Pflanzen.

24. Die mechanische Bodenanalyse 48
25. Der Nachweis einiger Pflanzennährstoffe im Boden 49
26. Der Gehalt des Wassers an Pflanzennährstoffen 49
27. Die Aschenanalyse 50
28. Das Mineralstoffbedürfniss der höheren Pflanzen und die Entbehrlichkeit des Natriums sowie des Siliciums für dieselben 52
29. Die Unentbehrlichkeit des Phosphors, Kaliums und Eisens für die höheren Pflanzen 53
30. Das Mineralstoffbedürfniss der Pilze 53

IV. Die organischen Verbindungen als Pflanzennahrungsmittel.

31. Die Humuskörper des Bodens 54
32. Experimente mit Penicillium crustaceum 55
33. Einige weitere Saprophyten 56
34. Experimente mit Saccharomyces cerevisiae 57
35. Die Bacterien 58
36. Einige parasitisch lebende Pilze 60
37. Die Flechten 62
38. Experimente mit fleischverdauenden Pflanzen 62

Zweiter Abschnitt.

Die Molekularkräfte der Pflanzen.

I. Die wichtigsten organisirten Gebilde der Pflanzenzellen.

39. Die Membranen der Pflanzenzellen 65
40. Die Stärkekörner 68
41. Das Verhalten der Stärke zum Jod 71
42. Das Verhalten der Stärkekörner im polarisirten Licht 71
43. Die protoplasmatischen Gebilde der Pflanzenzellen 72

II. Die Zerstörung der Molekularstructur organisirter pflanzlicher Gebilde.

44. Die Einwirkung niederer Temperaturen auf Pflanzen 77
45. Die Veränderungen, welche Pflanzen in Folge des Erfrierens erfahren . . 78
46. Die Eisbildung in gefrierenden Pflanzen 79
47. Die Tödtung der Pflanzen durch zu hohe Temperaturen 81
48. Die Veränderungen, welche Pflanzen in Folge der Tödtung durch zu hohe Temperaturen erfahren 83
49. Die Vernichtung der Molekularstructur durch mechanische Eingriffe . . 84
50. Die Wirkung des Austrocknens auf Pflanzentheile 85
51. Die Einwirkung der Elektricität auf Pflanzen 86
52. Die Einwirkung von Giften auf die Pflanzen 87

III. Elementare Molekularvorgänge in den Pflanzen.

53. Der Imbibitionsprocess 89
54. Die Diffusion und die Endosmose 92
55. Die diosmotischen Eigenschaften der Zellhaut und des Protoplasmas . . 94
56. Der Turgor und die Plasmolyse 97
57. Die isotonischen Coëfficienten 99
58. Die Grösse der Turgorkraft 101
59. Der Temperaturzustand der Gewächse 102
60. Die elektromotorischen Wirkungen an Pflanzen 104

IV. Die Bewegung der Gase in den Pflanzen.

61. Einiges über das Verhalten der Gase im Allgemeinen 105
62. Das Intercellularsystem der Pflanzen 107
63. Die Lenticellen 110
64. Die Spaltöffnungen und ihre Bedeutung beim Gaswechsel der Pflanzen . . 111
65. Positiver und negativer Gasdruck in den Pflanzen 116

Seite

V. Die Wasseraufnahme seitens der Pflanzen.

66. Das Condensationsvermögen des Bodens für Wassergas und die Wassercapacität des Bodens 123
67. Weitere Beobachtungen über das Verhalten des Bodens zum Wasser . . 124
68. Die Wasseraufnahme seitens der Wurzeln aus dem Boden 125
69. Die Wasseraufnahme seitens der Blätter 126
70. Einige Bewegungserscheinungen an Pflanzentheilen, die mit der Wasseraufnahme derselben im Zusammenhang stehen 127
71. Die Wasseraufnahme der Früchte und Samen 129
72. Weitere Experimente über den Quellungsprocess der Samen 131
73. Die Wasseraufnahme der Moose 133

VI. Die Wasserbewegung in den Pflanzen.

74. Constatirung der Erscheinung des Wurzeldrucks 135
75. Der Saftausfluss aus im Freien wachsenden verletzten Bäumen 136
76. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf den Saftausfluss aus decapitirten Pflanzen 137
77. Die Periodicität des Wurzeldrucks 139
78. Die Ursachen des Wurzeldrucks und verwandter Erscheinungen 140
79. Weitere Experimente über den Austritt tropfbar flüssigen Wassers aus Pflanzen 141
80. Die Organisation der Pflanzentheile und die Transpiration 144
81. Weitere Transpirationsversuche 146
82. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Transpiration der Pflanzen . . 148
83. Das Holz als wasserleitendes Gewebe und der Einfluss der Transpiration auf die Wasserbewegung in der Pflanze 150
84. Die Beweglichkeit des Wassers im Holz 153
85. Die Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze 156
86. Die Erscheinung des Welkens der Pflanze 158

VII. Die Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen.

87. Die Wurzeln der Pflanzen als Organe der Mineralstoffaufnahme 159
88. Die Mineralstoffaufnahme der Wurzeln aus Nährstofflösungen 161
89. Die Corrosionserscheinungen 162
90. Die Ursachen der Corrosionserscheinungen 163
91. Das Absorptionsvermögen des Bodens 165

Dritter Abschnitt.

Die Stoffwechselprocesse im vegetabilischen Organismus.

I. Das Verhalten der stickstoffhaltigen Verbindungen.

92. Die Eiweissstoffe, welche man aus Pflanzentheilen abscheiden kann . . . 167
93. Die makro- und mikrochemischen Eiweissreactionen 168
94. Allgemeines über das Verhalten der Eiweissstoffe in der Pflanze . . . 169
95. Das Pepsin und die Peptone 170
96. Das Nuclein 171
97. Der mikrochemische Nachweis des Asparagins 172
98. Die quantitative Bestimmung des Asparagins 173
99. Das Verhalten des Asparagins in den Pflanzen 173

II. Der Athmungsprocess der Pflanzen.

100. Experimente zur allgemeinen Orientirung über den Athmungsprocess der Pflanzen 175
101. Die Methode zur Bestimmung der Kohlensäuremenge, welche Pflanzen bei normaler Athmung aushauchen 177
102. Experimentelle Untersuchungen über die Kohlensäurebildung bei der normalen Athmung der Pflanzen 180
103. Ermittelung der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureproduction bei der normalen Athmung 182
104. Elementaranalytische Untersuchungen über den Athmungsprocess . . . 184
105. Die intramolekulare Athmung der Pflanzen 185

Seite

106. Das Verhältniss der normalen zur intramolekularen Athmung und die Athmung in reinem Sauerstoffgas 188
107. Das Verhalten der Pflanzen in Contact mit Stickstoffoxydulgas 189
108. Experimente über die Athmung, die Alkoholbildung und das Wachsthum der Hefe 190
109. Die Wärmeentwickelung und die Phosphorescenz der Pflanzen 193

III. Das Verhalten der stickstofffreien plastischen Stoffe der Pflanzen.

110. Das Amylum als Reservestoff 194
111. Die quantitative Amylumbestimmung 195
112. Das Vorkommen der Diastase in den Pflanzen und die Wirkungsweise des Fermentes 196
113. Der Einfluss verschiedener Substanzen sowie der Temperaturverhältnisse auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase 198
114. Die Entstehung der Diastase in den Zellen höherer Pflanzen 199
115. Die Bestimmung und der mikrochemische Nachweis der Glycose 200
116. Das Dextrin 200
117. Die Bestimmung und der mikrochemische Nachweis des Rohrzuckers . . 201
118. Die Cellulose als Reservestoff 202
119. Das Inulin 202
120. Die Pflanzenfette und die quantitative Bestimmung derselben 203
121. Die Reactionen der fetten Oele 205
122. Das Verhalten des Fettes bei der Keimung der Samen 206
123. Die Keimung der Samen von Phaseolus multiflorus 208
124. Die Keimung von Triticum vulgare 210
125. Die Keimung der Kartoffelknollen 212
126. Der Einfluss der Temperaturverhältnisse auf den Zuckergehalt der Kartoffelknollen 213
127. Das Reifen der Früchte und Samen 214
128. Die Gewinnung des für quantitative chemische Untersuchungen über Stoffwechselprocesse erforderlichen Materials 215
129. Quantitativ-chemische Untersuchungen über das Verhalten der Fette und Kohlehydrate beim pflanzlichen Stoffwechsel 216

IV. Die Nebenproducte des pflanzlichen Stoffwechsels.

130. Die organischen Säuren der Pflanzen 218
131. Das Verhalten der freien organischen Säuren im Organismus der Crassulaceen und einiger anderer Pflanzen 220
132. Die Gummiarten und die Pflanzenschleime 225
133. Die Gerbsäuren 225
134. Die ätherischen Oele und Harze 226
135. Die Farbstoffe 228
136. Der mikrochemische Nachweis von Alkaloiden und einiger anderer Stoffe in den Pflanzen 229

V. Die Translocation plastischer Stoffe in den Pflanzen.

137. Experimente mit keimenden Pollenkörnern 231
138. Experimente mit Blättern 232
139. Die Ringelungsversuche 234
140. Die Stärke- und Zuckerscheide und ihre Functionen bei der Stoffwanderung . 236
141. Die Siebröhren und ihre Function bei der Stoffwanderung 237
142. Der Milchsaft 239
143. Die Stoffaccumulation 240

Zweiter Theil.

Physiologie des Wachsthums und der Reizbewegungen.

Vierter Abschnitt.

Die Zuwachsbewegungen der Pflanzen.

I. Die Eigenschaften wachsender Pflanzentheile und die auf inneren Ursachen beruhenden Wachsthumsbewegungen.

Seite

144. Die Dehnbarkeit und Elasticität wachsender Pflanzentheile 245
145. Relationen zwischen der Grösse der Turgorausdehnung, des Wachsthums und der Dehnbarkeit der Pflanzentheile 246
146. Die Contraction der Wurzeln 248
147. Die Längsspannung 249
148. Die Querspannung 251
149. Die Vegetationspunkte und das Längenwachsthum der Pflanzentheile . . 252
150. Das Dickenwachsthum 255
151. Das selbstregistrirende Auxanometer 256
152. Die grosse Wachsthumsperiode 258
153. Die Wachsthumsgeschwindigkeit und Wachsthumsenergie 262
154. Die Torsionen 264
155. Einige spontane Nutationserscheinungen 265

II. Die nothwendigen Wachsthumsbedingungen und die Beeinflussung der Zuwachsbewegungen durch äussere Verhältnisse.

156. Das Stoffbedürfniss wachsender Pflanzentheile 267
157. Der Wassergehalt der Pflanzen und das Wachsthum 267
158. Die Athmung und das Wachsthum 268
159. Die Beeinflussung des Wachsthums durch Druck und Dehnung 269
160. Die Beeinflussung des Wachsthums durch die Temperaturverhältnisse . . 270
161. Die Jahresperiode der Pflanzen 273
162. Das Wachsthum der Pflanzentheile in constanter Finsterniss 275
163. Die Ursachen der Etiolirungserscheinungen 278
164. Der Einfluss des Lichts auf das Wachsthum 281
165. Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Keimung der Kartoffelknollen 282

Fünfter Abschnitt.

Die Reizbewegungen der Pflanzen.

I. Die Reizbewegungen protoplasmatischer Gebilde.

166. Die Bewegungserscheinungen des Protoplasmas 284
167. Die freien Ortsbewegungen niederer Organismen (Schwärmerbewegungen etc.) 286
168. Die Bewegungen der Chlorophyllkörper 290
169. Die Bewegung der Plasmodien von Aethalium septicum 291

II. Die geotropischen, heliotropischen und hydrotropischen Nutationen und einige andere Reizerscheinungen.

170. Das geotropische Verhalten der Wurzeln 293
171. Das geotropische Verhalten der Sprosse 296
172. Die Ursachen der geotropischen Krümmungen 300
173. Die Function der Wurzelspitze bei dem Zustandekommen geotropischer Krümmungen 302
174. Experimente mit dem Klinostaten 304
175. Experimente mit dem Centrifugalapparat 307
176. Die heliotropischen Nutationen 309

Seite
177. Der Hydrotropismus der Wurzeln 311
178. Der Hydrotropismus von Mucor Mucedo 312
179. Die durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse und durch Temperaturschwankungen inducirten Bewegungen der Laubblätter und Blüthentheile . . 313
180. Die Darwin'sche Krümmung etc. 315

III. Das Winden der Ranken und Schlingpflanzen.

181. Allgemeines über das Winden der Schlingpflanzen 316
182. Die rotirende Nutation 317
183. Die freien Windungen 318
184. Die Mechanik des Windens der Schlingpflanzen 319
185. Experimente über das Ranken der Cucurbitaceen 321
186. Experimente mit Ampelideenranken 325

IV. Die Dorsiventralität, Polarität und Anisotropie der Pflanzenorgane und die Correlationserscheinungen im Pflanzenreich.

187. Die Dorsiventralität der Pflanzentheile 327
188. Die Polarität der Pflanzentheile 329
189. Die Anisotropie der Pflanzenorgane 331
190. Allgemeines über die Festigung der Pflanzenorgane 338
191. Die Anordnung des mechanischen Gewebes in biegungs-, zug- und druckfesten Pflanzentheilen 340
192. Die Correlationserscheinungen im Pflanzenreich 342

V. Die Variationsbewegungen der Pflanzen.

193. Experimente mit Acacia lophanta 344
194. Experimente mit Phaseolus multiflorus 345
195. Experimente mit Mimosa pudica und anderen Pflanzen 347
196. Die durch Erschütterung oder Berührung hervorgerufenen Variationsbewegungen von Mimosa pudica 349
197. Beobachtung weiterer durch Erschütterung und Berührung hervorgerufener Variationsbewegungen 350
198. Die spontanen Variationsbewegungen 351
199. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf einige Variationsbewegungen . . . 352

Verzeichniss der Holzschnitte.

			Seite
Fig.	1.	Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wassercultur zur Entwickelung gebracht worden ist	5
„	2.	Querschnitt eines Theiles eines ausgewachsenen Blattes von Trifolium pratense	8
„	3.	Diaphanoskop, im Längsschnitt dargestellt	11
„	4.	Einige Zellen aus dem Blatt von Elodea canadensis	13
„	5.	Stativ zur Aufnahme von Reagensgläsern, welche Flüssigkeiten enthalten, deren Absorptionsspectrum ermittelt werden soll	17
„	6.	Absorptionsspectren des Chlorophyllfarbstoffes	19
„	7.	Doppeltwandige Glasgocke zur Aufnahme farbiger Flüssigkeiten, im Längsschnitt dargestellt	21
„	8.	Glasflasche mit parallelen Wänden zur Aufnahme farbiger Flüssigkeiten	21
„	9.	Retortenartiges Gefäss, dessen Mündung in Quecksilber eintaucht	26
„	10.	Apparat zum Auffangen des von assimilirenden Wasserpflanzen producirten Sauerstoffs	26
„	11.	Apparat zum Auffangen des von assimilirenden Wasserpflanzen producirten Sauerstoffs	27
„	12.	Apparat zur Beobachtung der Gasblasenabscheidung assimilirender Wasserpflanzen	27
„	13.	Apparat zur Feststellung der Thatsache, dass grüne Pflanzen nur dann Sauerstoff produciren können, wenn ihnen Kohlensäure zur Verfügung steht	30
„	14.	Apparat zur Bestimmung der Kohlensäuremenge, welche assimilirende Pflanzen zersetzen	31
„	15.	Apparat zur Cultur von Pflanzen bei Ausschluss von Kohlensäure	38
„	16.	Apparat zur Cultur von Pflanzen bei Ausschluss aller Stickstoffverbindungen	41
„	17.	Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wassercultur bei Ausschluss aller Stickstoffverbindungen in der Nährstofflösung zur Entwickelung gebracht ist	44
„	18.	Apparat zur Untersuchung der Einwirkung von Oxalsäure auf Nitrate	47
„	19.	Schlämmcylinder	48
„	20.	Penicillium crustaceum	56
„	21.	Bacillus subtilis	59
„	22.	Blatt von Drosera rotundifolia	63
„	23.	Tentakel mit Drüsenköpfchen von Drosera rotundifolia	63
„	24.	Blatt von Dionaea muscipula	64
„	25.	Hoftüpfel aus dem Holz von Pinus silvestris	67
„	26.	Längsschnitt eines Gefässbündels des fertig gestreckten hypocotylen Gliedes von Ricinus communis	68

Seite

Fig. 27. Durch Maceration isolirte Elemente aus dem secundären Holz und Bast von Tilia parvifolia 69
„ 28. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle 70
„ 29. Stärkekörner aus dem Rhizom von Canna indica 70
„ 30. Stärkekörner aus den Cotyledonen von Phaseolus vulgaris 70
„ 31. Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia virginica 73
„ 32. Stärkebildner aus der Knolle von Phajus grandifolius 75
„ 33. Zelle und Aleuronkörner aus dem Endosperm von Ricinus communis . 76
„ 34. Zellen aus den Cotyledonen der Erbse 76
„ 35. Querschnitt durch ein Weizenkorn 76
„ 36. Apparat zur Untersuchung des Temperaturganges in gefrierenden Kartoffelknollen 80
„ 37. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung höherer Temperaturen auf Samen 82
„ 38. Objectträger zur Untersuchung der Einwirkung elektrischer Ströme auf Pflanzentheile 86
„ 39. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung des Chloroforms auf Pflanzentheile 88
„ 40. Apparat zur Demonstration der Thatsache, dass bei der Quellung äussere Arbeit geleistet wird 91
„ 41. Apparat zum Nachweis der durch osmotische Processe erzeugten Druckwirkungen 93
„ 42. Apparat zur Bestimmung der Grösse der Turgorkraft 101
„ 43. Mit Wachs überzogene Holzplatte, die zu Beobachtungen über die Wärmeleitung im Holz verwendet werden kann 103
„ 44. Unpolarisirbare Elektrode 104
„ 45. Querschnitt durch ein Gefässbündel aus dem inneren Theile eines Internodiums des Stengels von Zea Mays 108
„ 46. Querschnitt durch das Internodium eines sterilen Sprosses von Equisetum arvense 109
„ 47. Querschnitt durch eine Lenticelle von Sambucus nigra 110
„ 48. Epidermis der Blattunterseite von Iris florentina 111
„ 49. Epidermis der Blattunterseite von Tradescantia virginica 112
„ 50. Apparat zum Nachweis der Wegsamkeit der Spaltöffnungen für Luft . 114
„ 51. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit von Capillaren für Luft . 115
„ 52. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit der Gefässe des Holzes für Luft 118
„ 53. Poroskop 119
„ 54. Apparat zum Nachweis des negativen Druckes der Gefässluft . . 121
„ 55. Carlina acaulis, Blüthenstand mit geschlossenem Involucrum . . . 127
„ 56. Carlina acaulis mit ausgebreitetem Involucrum 127
„ 57. Erodiumfrucht 128
„ 58. Stipa pennata, Frucht mit Granne 128
„ 59. Triticum vulgare, Quer- und Längsschnitt durch die Frucht . . . 130
„ 60. Apparat zur Beobachtung von Quellungserscheinungen 132
„ 61. Apparat zu Experimenten über den Wurzeldruck 135
„ 62. Thermostat 138
„ 63. Thermoregulator 138
„ 64. Apparat zur Veranschaulichung derjenigen Vorgänge, welche sich beim Zustandekommen des Wurzeldrucks geltend machen 141
„ 65. Apparat zum Nachweis des Einflusses von Druckkräften auf den Wasseraustritt aus Pflanzentheilen 142
„ 66. Apparat zu Transpirationsversuchen 147
„ 67. Apparat zu Transpirationsversuchen 148
„ 68. Apparat zu Transpirationsversuchen 149
„ 69. Apparat zum Nachweis der saugenden Wirkung der Transpiration . . 152

			Seite
Fig.	70.	Apparat zur Constatirung der leichten Beweglichkeit des Wassers im Holz	154
„	71.	Apparat zur Constatirung der leichten Beweglichkeit des Wassers im Holz und der Thatsache, dass die Schliessmembranen der gehöften Tüpfel der Tracheiden geschlossen sind	154
„	72.	Marmorplatte, deren Oberfläche durch die Wurzel eines Phaseolusexemplares corrodirt worden ist	163
„	73.	Apparat zur Veranschaulichung einiger Vorgänge, die sich beim Zustandekommen der Corrosionserscheinungen geltend machen	164
„	74.	Respirationskolben, der in einem Thermostaten hängt	178
„	75.	Pettenkofer'sche Barytröhre	178
„	76.	Tropfaspirator	179
„	77.	Respirationsapparat	183
„	78.	Apparat zur Bestimmung der Sauerstoffmenge, welche Pflanzentheile bei der Athmung aufzunehmen vermögen	187
„	79.	Kühne'sches Gährungsgefäss	190
	80.	Apparat zur Constatirung der Thatsache, dass es Organismen giebt, die bei völligem Sauerstoffausschluss zu wachsen vermögen	192
	81.	Apparat zum Nachweis der Eigenwärme der Pflanzen	193
	82.	Stärkekörner aus dem Endosperm des Weizenkornes in verschiedenen Stadien der Corrosion	198
„	83.	Zelle aus einem Stück einer Knolle von Dahlia variabilis mit Sphärokrystallen des Inulins	203
„	84.	Fettbestimmungsapparat	204
„	85.	Theil eines Querschnittes aus dem fertig gestreckten hypocotylen Glied von Ricinus communis	207
„	86.	Keimpflanze von Triticum vulgare	211
„	87.	Epidermiszelle von der Oberseite des Kelches von Tropaeolum majus mit Farbkörpern	228
„	88.	Geringelter Zweig von Salix fragilis	234
„	89.	Cucurbita Pepo, Theile von Siebröhren	238
„	90.	Der Länge nach halbirter Blüthenschaft von Taraxacum officinale, welcher, in Wasser gelegt, in Folge von Wasseraufnahme spiralige Einrollungen erfahren hat	251
„	91.	Querscheibe aus einem Ast von Prunus. Die Rinde ist zunächst abgelöst und dann wieder um den Holzkörper gelegt worden	251
„	92.	Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris	253
„	93.	Unterer Theil eines Internodiums aus dem Halm von Secale	254
„	94.	Querschnitt durch einen Zweig von Aristolochia Sipho	255
„	95.	Auxanometer	257
„	96.	Glascylinder zur Cultur von Keimpflanzen	260
„	97.	Apparat zur Untersuchung des Wurzelwachsthums	263
„	98.	Keimpflanze von Vicia Faba	265
„	99.	Keimpflanze von Phaseolus multiflorus	266
„	100.	Oberirdischer Theil einer im Dunkeln erwachsenen Keimpflanze von Cucurbita	276
„	101.	Oberirdischer Theil einer unter normalen Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Cucurbita	276
„	102.	Oberirdischer Theil einer im Dunkeln erwachsenen Keimpflanze von Phaseolus	277
„	103.	Oberirdischer Theil einer unter normalen Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Phaseolus	277
„	104.	Emulsionsfiguren	289
„	105.	Apparat zur Constatirung geotropischer Wurzelkrümmungen	293

		Seite
Fig. 106.	Zinkkasten mit Glaswänden zu Beobachtungen über Wurzelentwickelung .	294
„ 107.	Theil einer hinter einer Glaswand erwachsenen Wurzel von Phaseolus multiflorus	296
„ 108.	Negativ geotropisch gekrümmtes Epicotyl von Phaseolus multiflorus .	297
„ 109.	Halmstück eines Grases, geotropisch gekrümmt	298
„ 110.	Apparat zur Constatirung der Thatsache, dass Pflanzentheile bei Sauerstoffausschluss keine geotropischen Krümmungen erfahren	301
„ 111.	Klinostat	304
„ 112.	Centrifugalapparat	308
„ 113.	Keimpflanze von Sinapis alba. Das Hypocotyl ist positiv, die Wurzel negativ heliotropisch gekrümmt	309
„ 114.	Apparat zum Nachweis des Hydrotropismus der Wurzeln . . .	311
„ 115.	Blüthenschaft von Leontodon hastilis mit geschlossenem Blüthenstand .	314
„ 116.	Blüthenschaft von Leontodon hastilis mit geöffnetem Blüthenstand . .	314
„ 117.	Windender Spross von Phaseolus multiflorus	317
„ 118.	Spross von Ipomoea purpurea mit freien Windungen	318
„ 119.	Theil eines Sprosses von Sicyos angulatus mit einer Ranke . .	322
„ 120.	Ranke von Ampelopsis quinquefolia, nicht befestigt	326
„ 121.	Ranke von Ampelopsis quinquefolia mit Haftballenbildung . . .	326
„ 122.	Glascylinder, in welchem ein austreibendes Weidenzweigstück hängt .	329
„ 123.	Keimende Kartoffelknolle	331
„ 124.	Spross von Adropa Belladonna, dessen Gipfel sich epinastisch gekrümmt hat	334
„ 125.	Spross von Hedera Helix, dessen Gipfel sich bei einseitiger Beleuchtung von den einfallenden Lichtstrahlen weggekrümmt hat . . .	337
„ 126.	Sklerenchymgewebe im Querschnitt	338
„ 127.	Collenchymgewebe im Querschnitt	338
„ 128.	Apparat zur Bestimmung des Trag- und Festigkeitmoduls von Pflanzentheilen	339
„ 129.	Blatt von Phaseolus multiflorus in Tagesstellung	345
„ 130.	Blatt von Phaseolus multiflorus in Nachtstellung	345
„ 131.	Theil eines Sprosses von Mimosa pudica, das Blatt links ist im ungereizten Zustande, das Blatt rechts im gereizten Zustande dargestellt . .	349

ERSTER THEIL.

Physiologie der Ernährung.

ERSTER ABSCHNITT.

Die Nährstoffe der Pflanzen.

I. Der Assimilationsprocess.

1. Constatirung der Thatsache, dass grüne Pflanzen organische Substanz aus anorganischem Material zu erzeugen vermögen.

Die Thatsache, dass grüne Pflanzen organische, d. h. kohlenstoffhaltige, verbrennliche Substanz aus anorganischem Material zu erzeugen vermögen, ist von so fundamentaler Bedeutung, und die zur Feststellung dieser Thatsache anzustellenden Experimente sind so lehrreich, dass denselben eine ganz besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Die Versuche können fast zu jeder Jahreszeit angestellt werden; sie liefern freilich im Sommer der dann herrschenden günstigen Vegetationsbedingungen wegen die weitaus besten Resultate. Als Untersuchungsobjecte verwendet man zweckmässig den Mais, den Weizen, den Hafer, den Buchweizen oder die Bohne.

Es handelt sich zunächst darum, das Trockengewicht der zum Versuch dienenden ruhenden Früchte resp. Samen zu ermitteln, um den Gehalt derselben an organischer Substanz beurtheilen zu können. Einige Früchte, resp. Samen werden auf einer kleinen Handmühle zu einem feinen Pulver zermahlen, und es dient dann eine kleine Quantität dieses Pulvers, deren Gewicht aber genau festgestellt werden muss, zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes des ursprünglich lufttrockenen Materials. Etwa 3 Grm. des Pulvers werden in ein geeignetes Gläschen gebracht und im Trockenschrank bei 100° C. vom Wasser befreit. Als Resultat dieser Untersuchungen ergiebt sich, dass die lufttrockenen Früchte oder Samen etwa 85 % Trockensubstanz enthalten. Freilich besteht nun diese letztere nicht ihrer Gesammtmasse nach aus organischen Stoffen, sondern es sind neben diesen noch Mineralbestandtheile vorhanden, aber die Quantität derselben ist verhältnissmässig so gering, dass wir sie hier unberücksichtigt lassen dürfen.

Für die Culturversuche, welche angestellt werden sollen, wählen wir einige möglichst vollkommen ausgebildete Früchte oder Samen aus. Jedes Untersuchungsobject wird einzeln gewogen und das Gewicht notirt. Es lässt sich nun unter Berücksichtigung des Resultates der ausgeführten Trockensubstanzbestimmung das Trockengewicht jeder einzelnen Frucht oder jedes einzelnen Samen berechnen. Die Untersuchungsobjecte werden jetzt einzeln in kleine Glas- oder Porzellanschälchen gelegt, mit Wasser übergossen und 12—24 Stunden lang mit diesem

zum Aufquellen in Berührung belassen. Darauf bringt man die Früchte oder Samen in feuchten Sägespänen, die sich in einem geeigneten Kasten befinden, zum Keimen. Wenn die Keimwurzeln die Länge von mehreren Centimetern erreicht haben, so werden die Keimpflanzen vorsichtig aus den Sägespänen herausgenommen, sorgfältig abgewaschen und mit Hülfe der Methode der Wassercultur zu weiterer Entwickelung gebracht.

Wir bedürfen dazu zunächst geeigneter Glascylinder, die, wenn wir z. B. mit Maispflanzen experimentiren, so gross sein müssen, dass sie etwa 1,5 Liter Flüssigkeit fassen. Für kleinere Pflanzen genügen auch kleinere Gefässe. Die Glascylinder werden, um dem Mineralstoffbedürfniss der Pflanzen, auf das wir an anderer Stelle eingehend zurückkommen werden, zu genügen, nicht mit reinem Wasser, sondern mit einer Nährstofflösung angefüllt. Dieselbe bereitet man sich zweckmässig gleich in grösserer Quantität und bewahrt sie in wohl verschlossenen Gefässen im Dunkeln auf. Eine geeignete Nährstofflösung erhält man, wenn man auf 1 Liter destillirten Wassers die folgenden Mengen der nachstehend aufgeführten Körper benutzt:

1 Grm. salpetersauren Kalk ($Ca2\ NO_3$);
0,25 „ Chlorkalium (K Cl);
0,25 „ schwefelsaure Magnesia ($Mg\ SO_4$);
0,25 „ phosphorsaures Kali ($K\ H_2\ PO_4$).

Der Auflösung dieser Stoffe in dem Wasser werden dann noch einige Tropfen verdünnter Eisenchloridlösung hinzugesetzt.

Diese Nährstofflösung habe ich oft mit gutem Erfolg benutzt. Eine recht geeignete Nährstofflösung erhält man auch durch Auflösung der folgenden Salzmengen in 1 Liter Wasser:

1 Grm. salpetersaures Kali;
0,5 „ Chlornatrium;
0,5 „ schwefelsaurer Kalk;
0,5 „ schwefelsaure Magnesia;
0,5 „ dreibasisch phosphorsaurer Kalk.

Das Kalkphosphat wird in sehr fein pulverisirtem Zustande angewendet. Es ist in Wasser sehr schwer löslich und bildet daher in den Culturgefässen einen Bodensatz. Dieser Nährstofflösung sind endlich noch einige Tropfen verdünnter Eisenchloridlösung zuzusetzen.

Sind die Glascylinder mit der Nährstofflösung gefüllt, und hat man passende, mit einer grossen Bohrung versehene Korke zum Verschluss der Culturgefässe ausgewählt, so werden die Keimpflanzen mit Hülfe von Watte in den Bohrungen der Korke befestigt. (Vgl. Figur 1.) Jede Pflanze erhält einen besonderen Cylinder. Die Wurzeln der Untersuchungsobjecte müssen in die Nährstofflösung hineinragen; die noch vorhandenen Reservestoffbehälter (Endosporen oder Cotyledonen) dürfen freilich nicht in dieselbe eintauchen, müssen aber vor dem Austrocknen geschützt sein. Die Culturgefässe werden, nachdem sie mit den Pflanzen beschickt worden sind, vor ein Fenster gestellt, wo die letzteren directes Sonnenlicht empfangen. Die Glascylinder beklebt man übrigens mit schwarzem Glanzpapier, damit die Entwickelung von Algen in der Nährstofflösung und auf den Wurzeln der Gewächse ausgeschlossen bleibe. Die weisse Fläche des Glanzpapiers muss nach aussen gekehrt sein, damit die Flüssigkeit in den Culturgefässen keine zu hohe Temperatur annimmt. Haben die Pflanzen etwa die Hälfte der Nährstofflösung, die ursprünglich in den Cylindern vorhanden war,

aufgesogen, so füllt man destillirtes Wasser nach. Nur von Zeit zu Zeit wird das gesammte Quantum der alten Nährstofflösung beseitigt und durch neue ersetzt. Zweckmässig ist es auch, die Pflanzen ab und an einige Tage lang aus den Nährstofflösungen herauszunehmen und ihre Wurzeln während dieser Zeit nur mit destillirtem Wasser in Berührung zu lassen. Ein solches Verfahren wirkt besonders günstig auf die Wurzelbildung der Untersuchungsobjecte ein. Bei einiger Aufmerksamkeit und Sorgfalt wird man nach und nach diejenige Erfahrung gewinnen, welche für das Gelingen der Wassercultur-versuche erforderlich ist. Man ist mit Hülfe der Culturmethode im Stande, Pflanzen bei völligem Ausschluss des Bodens zu durchaus normaler Entwickelung zu bringen und kann von den Untersuchungsobjecten, wenn die Bestäubung ihrer Blüthen nicht unterbleibt, viele reife Früchte sowie keimfähige Samen ernten.

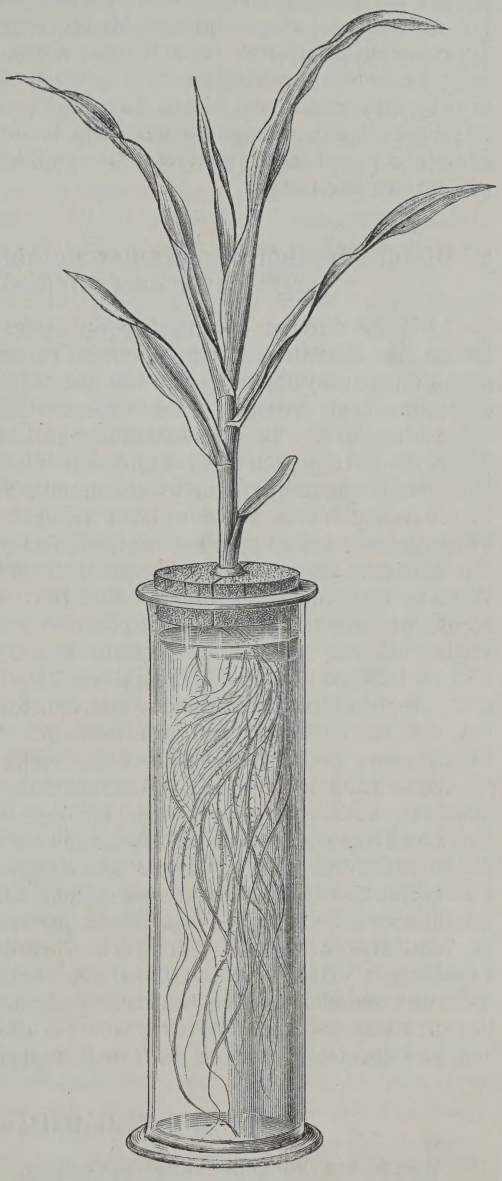


Fig. 1. Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wassercultur zur Entwickelung gebracht worden ist.

Unsere Pflanzen brauchen übrigens keineswegs ihre volle Entwickelung durchzumachen. Es genügt für unseren Zweck vollkommen, wenn sie einige Wochen lang vegetiren und kräftige Stengel, Blätter und Wurzeln producirt haben. Wir nehmen die Pflanzen dann aus der Nährstofflösung heraus, führen sie durch Liegenlassen an der Luft in den lufttrockenen Zustand über, zerschneiden jede Pflanze für sich mit der Scheere in recht kleine Stücke und benutzen entweder die ganze Masse eines Individuums oder einen abgewogenen Theil der lufttrockenen Sub-

stanz zur Trockensubstanzbestimmung. Vergleicht man das Trockengewicht einer Pflanze mit demjenigen des Samens, so findet man, dass das erstere das Vielfache des letzteren beträgt. Da der Aschengehalt der geernteten Pflanzen, ebenso wie derjenige der Samen, relativ sehr gering ist, so folgt, dass eine grosse Menge organischer Substanz von unseren Untersuchungsobjecten erzeugt sein muss. Wir haben unseren Pflanzen aber keine organischen Stoffe, sondern nur Wasser, einige Salze und die Bestandtheile der Luft zur Verfügung gestellt, und es beweisen unsere Culturen demnach, dass die benutzten Untersuchungsobjecte im Stande sein müssen, aus rein anorganischem Material organische Körper zu produciren.

2. Die Production organischer Substanz in der grünen Pflanzenzelle unter dem Einfluss des Lichtes.

Die Production organischer Substanz in der grünen Pflanzenzelle ist an die Mitwirkung des Lichtes gebunden, ein wichtiger Lehrsatz der Pflanzenphysiologie, von dessen Richtigkeit man sich durch das Experiment überzeugen muss. Einige Maiskörner werden einzeln gewogen und ihr Trockensubstanzgehalt ermittelt. (Vergl. unter 1.) Nach dem Anquellen und Ankeimen der Körner in Sägespänen wird jede Keimpflanze für sich in einem mit Nährstofflösung angefüllten Cylinder in der Weise, wie es unter 1 angegeben worden ist, befestigt. Einige Culturgefässe bringt man nun unter einem grossen Pappkasten ins Dunkle; die anderen werden unter übrigens gleichen Verhältnissen dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt. Die Blätter der Dunkelpflanzen ergrünen nicht, wie diejenigen der Lichtpflanzen, sondern sie nehmen eine gelbe Farbe an, da sich das normale grüne Chlorophyllpigment nur bei Lichtzutritt in den Zellen ausbilden kann. Nach 4—5 Wochen nimmt man die Untersuchungsobjecte aus den Nährstofflösungen heraus, trocknet sie an der Luft und ermittelt das Trockensubstanzgewicht jeder Pflanze, das nun mit dem Trockengewicht des betreffenden Samenkornes zu vergleichen ist. Das Trockensubstanzgewicht der Lichtpflanzen findet man erheblich grösser als dasjenige der benutzten Maiskörner, während das Trockengewicht der Dunkelpflanzen unter Umständen, wovon ich mich überzeugte, um 50 % geringer als dasjenige der Samen ausfällt. Bei Lichtabschluss kann keine organische Substanz neu gebildet werden, sondern es wird im Gegentheil ein grosser Theil der vorhandenen organischen Körper durch Stoffwechselprocesse (Athmung) zerstört. Bei Lichtzutritt erfolgt freilich ebenfalls Verathmung organischen Materials, aber die dadurch herbeigeführten Verluste werden durch den Assimilationsprocess mehr als gedeckt, so dass die im Licht vegetirenden Pflanzen fortschreitend reicher an Trockensubstanz werden können [1]).

3. Die Assimilationsorgane.

Wenn wir zunächst nur diejenigen Verhältnisse berücksichtigen, die uns bei den höheren Pflanzen entgegentreten, so ist zu bemerken, dass die meisten derselben entwickelte Laubblätter tragen. Diese sind in allererster Linie als Assimilationsorgane anzusehen. Ihre Spreite

1) Ueber ähnliche Versuche, wie solche hier besprochen worden sind, vergl. Detmer, Versuchsstationen, B. 14.

bietet der kohlensäurehaltigen Luft eine grosse Fläche dar, und ihr grünes Gewebe wird durch die eigenthümliche Anordnung der Nerven in einem ausgespannten Zustande erhalten. Die Nerven führen dem Mesophyll auch die für das Leben und die Functionen der Zellen des chlorophyllreichen Parenchyms nothwendigen Wasser- sowie Mineralstoffquantitäten zu. Die Anordnung der Nerven im Blatt ist bei verschiedenen Gewächsen freilich eine ungemein mannigfaltige, und man kann sich z. B. in folgender Weise specieller über die hier in Betracht kommenden Verhältnisse orientiren. Ein Blatt von Impatiens parviflora wird in Alcohol gelegt, bis der Chlorophyllfarbstoff extrahirt ist. Dann bringt man das Blatt einige Zeit in eine Auflösung von 5 Thl. Chloralhydrat in 2 Thl. Wasser. Darin wird das Untersuchungsobject in hohem Grade durchsichtig, und es können Stücke desselben ohne weiteres der mikroskopischen Untersuchung unterzogen werden. Im Mesophyll fällt das Vorhandensein von gestreckten Zellen auf, die Raphidenbündel (Krystalle von Kalkoxalat) enthalten. Das Blatt wird von einem ziemlich starken Mittelnerven durchzogen, von dem aus Seitennerven erster Ordnung nach dem Blattrande zu abgehen, um diesem, bevor sie mit anderen Nerven anastomosiren, eine Strecke weit zu folgen. Die Nerven erster Ordnung geben die Nerven zweiter Ordnung ab, diese diejenigen dritter Ordnung etc., so dass ein vielfach gegliedertes Netzwerk gebildet wird, dessen letzte, sehr feine Zweige zum Theil blind im Mesophyll endigen [1]).

Zur allgemeinen Orientirung über den anatomischen Bau des Mesophylls stellen wir uns nunmehr möglichst dünne Querschnitte aus Blättern her und wählen als Untersuchungsobject z. B. die Cotyledonen der zu jeder Zeit leicht zu cultivirenden Keimlinge von Raphanus sativus oder die Laubblätter von Dahlia variabilis, Vitis vinifera, Berberis vulgaris, Syringa vulgaris, Trifolium pratense oder Fagus silvatica. Bei mikroskopischer Untersuchung der Querschnitte fällt sofort auf, dass das grüne Mesophyll auf der Ober- und Unterseite der Blätter der angeführten Pflanzen nicht gleichmässig gebaut ist. (Vergl. Fig. 2.) Unter der Epidermis der Blattoberseite constatiren wir das Vorhandensein schlauchförmiger, rechtwinkelig zur Blattoberfläche gestreckter Zellen, die man als Palissadenzellen bezeichnet, während auf der Blattunterseite das an Intercellularen reiche Schwammparenchym entwickelt ist. Freilich führen sowohl die Zellen des Palissaden-, sowie diejenigen des Schwammparenchyms Chlorophyllkörner, aber aus Gründen, die erst an anderer Stelle specieller auseinandergesetzt werden können, ist das erstere für das Zustandekommen einer recht energischen Assimilation von besonderer Bedeutung, und daher verdient das Vorhandensein desselben an der Oberseite vieler Blätter specielle Beachtung.

Zur Begründung der Anschauung, nach welcher das Palissadenparenchym als specifisches Assimilationsgewebe angesehen werden muss, lassen sich auch Thatsachen der vergleichenden Anatomie geltend machen.

Sarothamnus vulgaris ist ein Strauch, der nur sehr kleine Blätter trägt, die für die assimilatorische Arbeit nicht ausreichend erscheinen. Die vielfach verzweigten Stammgebilde müssen hier neben den Blättern thätig sein, um genügende Quantitäten organischer Substanz für die Pflanze zu erzeugen. Ein Stengelquerschnitt stellt sich uns als fünf-

1) Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 60.

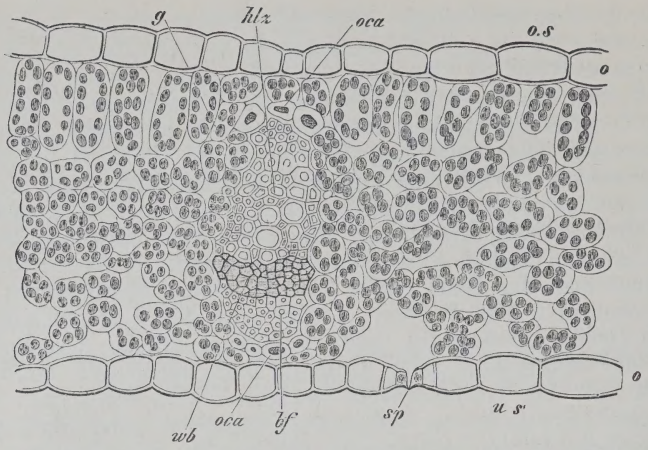


Fig. 2. Querschnitt eines Theiles eines ausgewachsenen Blattes von Trifolium pratense. *o.s* Oberseite, *u s* Unterseite des Blattes, *o* Epidermis, *sp* Spaltöffnung, *oca* Krystall von Kalkoxalat in der Krystallscheide des Gefässbündels, *hlz* Holztheil des Gefässbündels, *g* Gefässe, *wb* Weichbast, *bf* Bastfasern. Vergr. 300. (Nach H. DE VRIES.)

strahliger Stern dar, und wenn wir einen dünnen Querschnitt mikroskopisch untersuchen, so ergiebt sich, dass unter der Epidermis der Strahlenenden sklerenchymatisches Gewebe vorhanden ist, während das peripherische Gewebe der Buchten zwischen den Strahlenenden grün erscheint. Wir stellen fest, dass dies Gewebe in seinen äusseren Schichten aus Palissadenzellen besteht, die rechtwinkelig zur Stengeloberfläche gestreckt erscheinen, während weiter nach innen zu mehr rundliche chlorophyllhaltige Zellen folgen. Wir untersuchen auch noch einen dünnen Querschnitt aus dem Stengel von Spartium junceum. Das assimilatorisch thätige Gewebe unter der Epidermis besteht hier seiner Gesammtmasse nach aus Palissadenzellen. Es folgen etwa 6 Schichten rechtwinkelig zur Stengeloberfläche gestellter, stark gestreckter, grüner Zellen auf einander. Das grüne Gewebe bildet aber keinen geschlossenen Ring unter der Oberhaut, sondern es wechselt im Umkreise des ganzen Stengels Assimilationsgewebe mit Sklerenchym ab. Bei armlaubigen Pflanzen oder solchen Gewächsen, die gar keine grünen Blätter produciren, muss das grüne Gewebe der Stammgebilde die Arbeit der Assimilation der Hauptsache nach oder gänzlich übernehmen, und dies Gewebe besteht daher im Wesentlichen oder völlig aus Palissadenzellen.

Uebrigens ist keineswegs den Laubblättern aller Pflanzen der Besitz des Palissadenparenchyms eigenthümlich. Untersucht man z. B. Querschnitte der jungen Blätter von Triticum vulgare, so findet man, dass das Mesophyll, welches an der Blattober- und Unterseite von der Epidermis begrenzt und von den Gefässbündeln durchzogen wird, seiner ganzen Masse nach aus nahezu gleichgestalteten, rundlichen Zellen besteht. Blätter, bei denen es noch nicht zu einer Differenzirung von Palissaden- und Schwammparenchym gekommen ist, sind auch häufig dadurch ausgezeichnet, dass nicht das gesammte Gewebe zwischen der Epidermis der beiden Blattflächen aus chlorophyllführenden Zellen besteht. Untersuchen wir z. B. einen Blattquerschnitt von Iris germanica, so finden wir unter der Epidermis der Blattoberseite sowie der Blatt-

unterseite grünes Gewebe. Ausserdem treten die Gefässbündel deutlich hervor, deren Basttheil nach aussen hin mit einem Bastfaserbeleg versehen ist, und ferner sieht man sofort, dass die Mittelschicht des Blattes aus saftreichen, nicht grünen Zellen besteht. Solche chlorophyllfreie Zellen sind auch in den Blättern von Hyacinthus orientalis und den succulenten Blättern der Aloëspecies reichlich vorhanden.

Es muss hier ferner auf die interessante Thatsache hingewiesen werden, dass die Blätter mit deutlich entwickeltem Schwamm- und Palissadenparenchym eben hierdurch streng dorsiventral gebaut erscheinen und zu den exquisit plagiotropen Organen gehören. Aber keineswegs sind sämmtliche Laubblätter streng dorsiventral gebaut; es giebt auch viele Dicotylen mit centrisch organisirtem Mesophyll der Blätter, die dann meist eine mehr orthotrope Entwickelung zeigen. So besitzen z. B. die Blätter von Anchusa italica, Centaurea Jacea, Tragopogon orientalis, Aster Amellus, Genista tinctoria etc. centrischen Bau. Bei der zuletzt genannten Pflanze besteht das Mesophyll fast nur aus senkrecht zur Blattfläche gestreckten Zellen. Centaurea Jacea variirt, wovon ich mich oft überzeugte, je nach ihrem Standort ungemein. Die der Sonne stark ausgesetzten Individuen erzeugen z. B. lange, schmale Blätter, welche relativ dick sind. Die Blätter der Schattenpflanzen erscheinen dünner, aber mehr in die Fläche entwickelt. Das Mesophyll der Blätter von Centaurea Jacea, zumal der Sonnenpflanzen, ist nicht dorsiventral, sondern centrisch gebaut. Man sieht leicht bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte, dass auf der Ober- sowie Unterseite der Blätter Palissadenparenchym vorhanden ist[1]).

Die Blattstiele sind gewöhnlich arm an chlorophyllführenden Zellen, weil sie meistens nicht als Assimilationsorgane der Gewächse fungiren, sondern für ganz andere Leistungen in Anspruch genommen werden. Die mikroskopische Untersuchung eines Querschnitts durch den Blattstiel von Vitis vinifera lehrt, dass nahe unter der Epidermis Gruppen von Collenchymbündeln vorhanden sind, und dass sich zwischen diesen Bündeln schwach entwickeltes grünes Parenchym sowie Zellen befinden, von denen bald viele, bald nur wenige einen rothen im Zellsaft gelösten Farbstoff führen. Die aus den erwähnten verschiedenartigen Geweben bestehende Rinde des Blattstiels umschliesst den Gefässbündelkreis und das Mark. Auch bei der Untersuchung der Blattstiele anderer Pflanzen, z. B. derjenigen von Chenopodium bonus Henricus, lässt sich leicht feststellen, dass sie sehr arm an grünem Gewebe sind.

Wir stellen auch noch einen Querschnitt des Blattstieles einer Begonie (ich untersuchte speciell Begonia manicata) her. Auf die Epidermis folgt ein Collenchymring, dann grosszelliges Grundgewebe, in welchem die Gefässbündel nicht in einem Kreise angeordnet sind. Die peripherischen Schichten des grosszelligen Grundgewebes sind freilich chlorophyllhaltig, aber die Zellen führen nur wenige, allerdings relativ grosse Chlorophyllkörner.

Die grünen Stengel der Pflanzen betheiligen sich gewöhnlich ebenso wie die Blattstiele nur in sehr beschränktem Umfange an der assimilatorischen Arbeit, und daher enthält die Hauptmasse ihres Gewebes keine Chlorophyllkörper. Stellen wir z. B. einen Querschnitt aus dem Stengel einer Mohnspecies her, so gewahren wir im Centrum das Mark. Nach aussen folgen die Gefässbündel, von denen jedes, abgesehen vom

1) Vgl. Heinricher in: Pringsheim's Jahrbüchern f. wissensch. Botanik, B. 15.

Holztheil, aus einer breiten Weichbastzone und dieser nach aussen angelagerten Bastfaserregion besteht. Die Markverbindungen zwischen den einzelnen Gefässbündeln bestehen aus grossen Zellen. Für die Rinde ist das Vorhandensein eines geschlossenen Sklerenchymcylinders besonders charakteristisch; nach aussen wird dieser von einer im Verhältniss zur Gesammtmasse des Papaverstengels schwach entwickelten Schicht grünen Gewebes umschlossen, und an dieses Chlorophyllparenchym grenzt unmittelbar die Epidermis. Wir untersuchen auch noch einen Querschnitt des Stengels von Chenopodium bonus Henricus und finden, dass unter der Epidermis Collenchym und grünes Parenchym mit einander abwechseln [1]).

4. Die Durchleuchtung der Pflanzengewebe.

Das Licht ist für den Verlauf sehr verschiedener physiologischer Processe in der Pflanze von grosser Bedeutung, und die Lichtstrahlen von ungleicher Brechbarkeit sind bezüglich des Einflusses, den sie auf das Pflanzenleben ausüben, keineswegs als gleichwerthig zu betrachten. Es ist daher nicht ohne Interesse, einige Experimente über die Durchleuchtungsverhältnisse pflanzlicher Gewebe anzustellen. Die Tiefe, bis zu welcher Lichtstrahlen in pflanzliche Gewebe eindringen, hängt einerseits ab von der Intensität, sowie der Brechbarkeit der ersteren, andererseits von der chemischen Beschaffenheit der Zellenbestandtheile selbst und dem anatomischen Bau der Gewebe. Mit Rücksicht auf diesen letzteren Punkt spielt unter anderem das Vorhandensein eines mehr oder minder entwickelten Intercellularsystems eine wichtige Rolle. Sind z. B. viele Intercellularen vorhanden, so müssen die einfallenden Strahlen sehr oft aus der Zellflüssigkeit und den mit Wasser imbibirten Zellhäuten in Luft übergehen, was den Grad der Durchsichtigkeit eines Gewebes natürlich erheblich herabmindert. Die Bedeutung der Intercellularen für die hier in Rede stehenden Verhältnisse wird sofort klar, wenn man das folgende Experiment anstellt. Ein Blattstück von Begonia manicata wird in Wasser gelegt, das sich in einem kleinen Glase befindet. Man verschliesst die Mündung des Glases mit einem Kautschukkork, durch dessen Bohrung der eine Schenkel eines im rechten Winkel gebogenen Glasrohres gesteckt worden ist, während der andere Schenkel mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt wird. Evacuirt man, so entweicht die Luft aus den Intercellularen des Blattstückes; dieselben füllen sich aber mit Wasser, und das Untersuchungsobject erscheint nun weit durchscheinender als bei Beginn des Versuchs. Taucht man die Spreite eines Blattes von Primula sinensis in Wasser und nimmt man das Ende des Blattstieles in den Mund, um die Luft aus dem Intercellularsystem durch Saugen zu entfernen, so dringt durch die Spaltöffnungen des Blattes Wasser in die Intercellularen ein, wodurch das Gewebe ziemlich durchscheinend wird.

Einen geringen Grad von Durchsichtigkeit besitzt in Folge der specifischen Natur seiner Zellmembranen das Korkgewebe. Ebenso absorbiren chlorophyllreiche Gewebe in Folge der Gegenwart des grünen

1) Literatur über das Assimilationsgewebe: Pick, Beiträge zur Kenntniss des assimilirenden Gewebes armlaubiger Pflanzen, Bonn 1881; G. Haberlandt, Pringsheim's Jahrbücher f. wissensch. Botanik, B. 13; Stahl, Botan. Zeitung, 1880.

Pigments viel Licht und lassen nur relativ wenig passiren. Hier ist auch der Ort, zu erwähnen, obgleich wir unter 7 noch specieller auf das Absorptionsvermögen des Blattgrüns für Lichtstrahlen zurückkommen, dass das Chlorophyllpigment ein sehr energisches Absorptionsvermögen für die sogen. chemischen Strahlen besitzt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man ein beliebiges grünes Blatt auf ein Stück photographischen Papiers legt und dasselbe nunmehr zwischen zwei Glasplatten dem Einflusse des Lichtes exponirt. Der nicht von dem Blatte bedeckte Theil des Papiers bräunt sich schnell; der bedeckte verändert seine weisse Farbe nicht oder nicht wesentlich, weil der Chlorophyllfarbstoff im Blattgewebe die sogen. chemischen Strahlen sehr energisch absorbirt.

Um die Tiefe zu bestimmen, bis zu welcher Licht von einer Intensität, die für das Auge noch wahrnehmbar ist, in Gewebeschichten eindringt, benutzt man nach Sachs[1]) das einfache Diaphanoskop (Fig. 3). Dieser Apparat besteht aus einem aus dicker Pappe gefertigten Rohr *a* von 60 Mm. Länge und 35 Mm. Durchmesser, das an einem Ende offen, am anderen Ende bis auf eine kleine Oeffnung von etwa 10 Mm. Durchmesser geschlossen ist. Ueber dieses Ende des Rohres *a* kann eine zweite Pappröhre *b* geschoben werden, die ganz ähnliche Beschaffenheit wie das Rohr *a* besitzt. Legt man die Untersuchungsobjecte zwischen die Röhren, hält das offene Ende des Rohres *a* dicht an das Auge und richtet den Apparat gegen die Sonne oder eine helle Wolke, so kann man die Durchleuchtungsverhältnisse pflanzlicher Gewebe studiren. Als ich ein Blattstück von Lonicera tatarica in das Diaphanoskop einschaltete, erschien das durchgegangene Licht hellgrün. 4 Blattstücke eingeschaltet, liessen alsbald deutlich erkennen, dass grünes Licht hindurchging. Wurden 6 Blattstücke eingeschaltet, so nahm das Auge nach längerem Hineinsehen in den Apparat einen gelblichen Schein wahr.

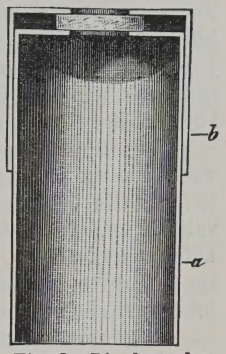


Fig. 3. Diaphanoskop, im Längsschnitt dargestellt.

Zur Herstellung eines analysirenden Diaphanoskops braucht man das einfache Diaphanoskop nur über den vorderen Theil der Röhre eines geeigneten Spectroskops zu schieben und dieses, indem man beobachtet, gegen helle Wolken oder den blauen Himmel zu richten. Als ich ein Blattstück von Syringa vulgaris in das Diaphanoskop eingeschaltet hatte, zeigte sich, dass dasselbe Roth, Orange, Gelb, Grün und etwas Blau, freilich geschwächt, passiren liess. Die brechbareren Strahlen wurden völlig absorbirt. 2 Blattstücke von Syringa liessen nur noch Roth, Orange, Gelb und Grün sehr geschwächt passiren, andere Strahlen nicht. Eine 17 Mm. dicke Gewebeplatte aus dem Parenchym einer Kartoffelknolle, die ich in das Diaphanoskop eingeschaltet hatte, absorbirte die brechbareren Lichtstrahlen völlig, liess aber Roth, Orange, Gelb, Grün und eine Spur Blau sehr geschwächt passiren. Nach den Resultaten dieser Beobachtungen dringen die weniger brechbaren Lichtstrahlen also tiefer als diejenigen von hoher Brechbarkeit in das Pflanzengewebe ein.

---

1) Vergl. Sachs, Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. zu Wien, 1860, B. 43.

5. Die Chlorophyllkörper.

Als Organe der assimilatorischen Thätigkeit der Zellen sind die Chlorophyllkörper anzusehen. Die Gestalt derselben ist gewöhnlich eine rundliche oder polyëdrische; nur in den Zellen mancher Algen kommen auch andersartige Chlorophyllkörper vor. Wir bringen z. B. einige Fäden einer Algenart, die in stehenden Gewässern häufig vorkommt, nämlich einer Zygnemaspecies, mit einem Wassertropfen auf den Objectträger, bedecken mit dem Deckglase und untersuchen das Object bei etwa 500facher Vergrösserung. Es zeigt sich, dass jeder Faden aus einer ganzen Reihe von Zellen besteht, und dass in jeder Zelle zwei grün gefärbte, sternförmige Gebilde, eben die Chlorophyllkörper, vorhanden sind. Wir sehen auch den Zellkern in der Mitte jeder Zelle, aber dieser, sowie das wandständige, farblose Protoplasma, mit welchem die Chlorophyllkörper durch ihre Strahlen in Verbindung stehen, interessiren uns hier nicht weiter.

Die Spirogyraarten sind Algen, welche zumeist in stehenden Gewässern vorkommen und aus unverzweigten Zellfäden bestehen. In jeder Zelle erblickt man bei mikroskopischer Untersuchung grüne Spiralbänder, je nach den Arten in verschiedener Anzahl, welche die Chlorophyllkörper repräsentiren. Das wandständige Plasma und der im Zellsafte mittelst dünner Plasmafäden ausgespannte Zellkern sind häufig leicht zu beobachten.

Wenn man einmal in den Besitz guten Spirogyramaterials gelangt ist, so sollte man dasselbe, da wir es bei der Ausführung verschiedener physiologischer Experimente gebrauchen, zu cultiviren suchen. Dies geschieht nach Strasburger am besten, indem man die Algen in nicht zu tiefe, mit Brunnenwasser gefüllte Gefässe bringt, deren Wände nicht durchsichtig sind oder durch Ueberkleben mit schwarzem Papier undurchsichtig gemacht werden. Man setzt die Algen hellem, diffusem Licht (nicht directem Sonnenlicht) aus und wirft von Zeit zu Zeit kleine Torfstückchen, welche nach dem Auskochen mit gewöhnlicher Nährstofflösung, wie man sie bei der Ausführung von Wasserculturversuchen braucht, getränkt sind, in das Wasser.

Sehr häufig sind in stehenden, sowie fliessenden Gewässern Arten der Gattung Cladophora, Algen, die rauh anzufühlende, verzweigte Fäden darstellen. Die Seitenzweige entspringen aus dem oberen Ende der Gliederzellen. Zur weiteren Untersuchung ist ziemlich starke Vergrösserung anzuwenden, und es ergiebt sich dabei, dass der grüne Wandbeleg der Zellen aus kleinen, polygonalen Gebilden besteht, die durch zarte, farblose Linien von einander getrennt sind. Die Chlorophyllkörper von Cladophora sind denjenigen höherer Pflanzen schon ziemlich ähnlich.

Es mag hier auch gestattet sein, einen merkwürdigen Organismus, der oft in Wassertümpeln an untergetauchten Pflanzentheilen haftend angetroffen wird, zu erwähnen. Ich habe hier die Hydra viridis im Auge, ein kleines Wasserthierchen von 5—12 Mm. Länge und grüner Farbe. Wenn wir die Hydra in einen Wassertropfen bringen und sie, um sie nicht zu beschädigen, ohne Benutzung eines Deckglases mikroskopisch untersuchen, so erkennen wir leicht, dass der Organismus ein sackartiges Gebilde darstellt, der aus zwei Hüllen, dem Ektoderm und dem Endoderm, besteht, am vorderen Ende eine Mundöffnung besitzt (eine

Afteröffnung fehlt), die von vielen Tentakeln umgeben ist, und sich contrahiren, aber auch wieder ausstrecken kann. Im Endoderm des cylindrichen Körpers der Hydra, sowie im Endoderm der Tentakeln gewahrt man zahlreiche grüne, kugelige Gebilde. Es sind dies einzellige Algen, die im symbiotischen Verhältniss mit der Hydra viridis leben. Diese gewährt ihnen Schutz, während die Algen der Hydra dadurch nützen, dass sie ihr in Folge ihrer assimilatorischen Thätigkeit organische Substanz, sowie freien Sauerstoff zur Verfügung stellen.

In Gewächshäusern, in welchen Farne cultivirt werden, findet man gewöhnlich mit Leichtigkeit an feuchten Wänden oder an den Stämmen von Baumfarnen Farnprothallien auf, kleine, grüne, herzförmige, dem Substrat anliegende Gebilde, die wir, nachdem wir sie mit der Pincette von ihrer Unterlage abgehoben und mit Wasser abgespült haben, im Wassertropfen mikroskopisch untersuchen. Die Prothallien sind bis auf einen medianen Theil einschichtig; sie sind durch den Besitz einer an ihrem vorderen Ende befindlichen Einbuchtung ausgezeichnet und produciren auf ihrer Unter- oder Bauchseite ziemlich lange Wurzelhaare. Für unsere Zwecke ist es besonders wichtig, dass in den grün erscheinenden Prothalliumzellen zahlreiche rundliche Chlorophyllkörper leicht zu sehen sind.

Lehrreich ist es ferner, ein Blatt des verbreiteten Mooses, Funaria hygrometrica, mikroskopisch zu untersuchen. Wir wählen, aus hier nicht zu erörternden Gründen, Pflanzen aus, die einige Zeit lang diffusem Tageslicht ausgesetzt gewesen sind, und finden, dass die Zellen des bis auf die Mittelrippe einschichtigen Blattes viele grosse Chlorophyllkörner enthalten, die zum Theil in Theilung begriffen sind.

Wir stellen ferner einen Querschnitt durch den Thallus von Marchantia polymorpha (es ist dies ein auf feuchtem Boden recht häufig vorkommendes, gabelig verzweigtes Lebermoos) her. Ohne Rücksicht auf Details genügt es uns hier, das Vorhandensein eines chlorophyllreichen Gewebes an der Thallusoberseite zu constatiren. Es folgt eine chlorophyllarme Mittelschicht, und an der Bauchseite befinden sich wieder zwei chlorophyllreichere Zellschichten.

Wird ein Blatt aus der Knospe von Elodea canadensis in einem Wassertropfen auf den Objectträger gebracht, so werden wir bei mikroskopischer Betrachtung nach kurzem Suchen Zellen finden, welche die in Fig. 4 dargestellten Verhältnisse zur Anschauung bringen. Das wandständige Plasma, die kernhaltige Protoplasmamasse und die von dieser letzteren ausgehenden Protoplasmastränge sind leicht zu sehen. Das Protoplasma zeigt häufig auch ziemlich lebhafte Be-

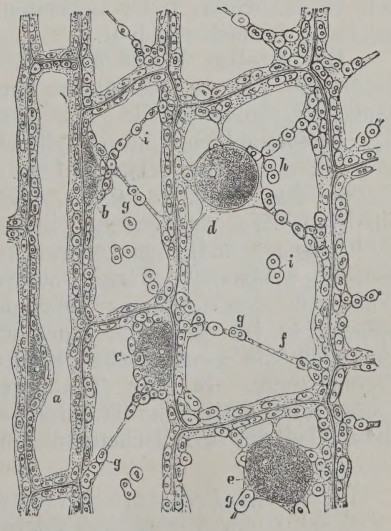


Fig. 4 Einige Zellen aus dem Blatt von Elodea canadensis. *a* bis *e* Zellkerne, *f* Protoplasmabänder, *g* Chlorophyllkörner, zum Theil in Theilung und mit Einschluss von Stärkekörnchen. (Nach Kny.)

wegungserscheinungen, und im Plasma treten die Chlorophyllkörper deutlich hervor.

Werden von der Unterseite eines Escheveriablattes die äusseren Zellschichten entfernt, und untersucht man Schnitte des folgenden lockeren Blattgewebes, so erblickt man in den nicht verletzten Zellen grosse Chlorophyllkörner, die deshalb besonders interessant sind, weil sie, bei ziemlich starker Vergrösserung untersucht, maschige Structurverhältnisse relativ deutlich hervortreten lassen. Man darf annehmen, dass alle Chlorophyllkörper eine solche Structur besitzen; dieselbe ist aber keineswegs stets leicht zu constatiren.

Wenn wir Lupinensamen bei Lichtzutritt zum Keimen bringen, so nehmen die über die Bodenoberfläche hervortretenden Cotyledonen eine grüne Farbe an. Die mikroskopische Untersuchung des Querschnittes eines Keimblattes lässt die Epidermis, das Grundgewebe, sowie die Gefässbündel leicht wahrnehmen, und in den Zellen des Grundgewebes, zumal den peripherisch gelegenen, sind viele relativ grosse Chlorophyllkörner zu erkennen [1]).

Es ist von Wichtigkeit, hier zu betonen, dass es manche Pflanzentheile giebt, die nicht chlorophyllgrün aussehen, aber dennoch reichliche oder geringe Chlorophyllmengen enthalten und demnach zu assimilatorischer Thätigkeit befähigt sind. Wir stellen Querschnitte durch Blätter rothblättriger Varietäten von Corylus oder Fagus her. In den Zellen des Palissaden- sowie des Schwammparenchyms sind, wie in denjenigen grüner Blätter, zahlreiche Chlorophyllkörner vorhanden, aber die Epidermiszellen enthalten roth oder violett gefärbten Zellsaft; die in der Epidermis vorhandenen Pigmente verdecken in den unversehrten Blättern also nur die Farbe des Blattgrüns. Die jungen Blätter mancher Pflanzen (z. B. der Eichen) erscheinen nicht grün, sondern roth, später werden die Blätter aber grün. Das Mesophyll der jungen Blätter enthält zahlreiche Chlorophyllkörper, wovon man sich beim Studium von Querschnitten überzeugen kann, indessen im Zellsaft der Zellen des Assimilationsgewebes, zumal des Palissadenparenchyms, sind rothe Farbstoffe aufgelöst. In diesem Falle dient das rothe Pigment den jugendlichen, tiefer liegenden grünen Zellen als ein Schutzmittel gegen zu intensives Licht.

Die Neottia Nidus avis ist eine zu der Familie der Orchideen gehörende Pflanze, welche im humusreichen Boden feuchter Wälder häufig angetroffen wird. Die ganze Pflanze besitzt eine braune Farbe; sie scheint keinen Chlorophyllfarbstoff zu enthalten. Ein Querschnitt, den wir aus einer etwa 6 Ctm. unter dem Blüthenstande liegenden Region des Stengels führen, lässt bei mikroskopischer Untersuchung die Epidermis, das Parenchym der Rinde sowie des Markes und einen dazwischen befindlichen Sklerenchymcylinder sammt den Gefässbündeln deutlich erkennen; grüne Chlorophyllkörper finden wir aber nirgends. Wird eine Neottiapflanze nach dem Zerquetschen mit Alkohol übergossen, so ist es leicht, einen chlorophyllgrünen Extract zu erhalten, der auch die gewöhnlichen Fluorescenzerscheinungen einer Blattgrünlösung zeigt. In der That enthält die Neottia, wie Wiesner [2]) zuerst fand, Chlorophyllfarbstoff; die Pflanze kann also assimiliren und einen Theil der organischen Substanz, deren sie bedarf, aus anorganischem

1) Ueber verschiedene hier berührte Verhältnisse vergl. Strasburger's Botan. Practicum.
2) Vgl. Wiesner, Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, B. 8, S. 575.

Material selbst produciren, während sie freilich einen anderen Theil von aussen aufnimmt. Zur weiteren Orientirung stellen wir die folgende Beobachtung an. Wir ziehen ein Stückchen Epidermis von dem Fruchtknoten einer Neottiablüthe ab und untersuchen dasselbe bei starker Vergrösserung. In der Umgebung des Zellkernes der Zellen sehen wir rundliche oder spindelförmige, braun gefärbte Farbstoffkörperchen, die, wenn wir das Präparat mit Alkohol behandeln, ergrünen. Solche Pigmentträger finden sich ebenfalls, freilich nicht in so grosser Menge, in den Geweben des Stengels, und in allen Fällen haben wir es mit Farbstoffträgern zu thun, die neben dem Chlorophyllpigment einen unter gewöhnlichen Umständen die grüne Farbe desselben völlig verdeckenden braunen Farbstoff führen.

In den braunen Fucusarten ist die Farbe des Chlorophyllpigments ebenfalls durch das Vorhandensein eines braunen Farbstoffes verdeckt, wovon ich mich in folgender Weise überzeugte. Ich sammelte in der Nähe von Cuxhaven Fucus vesiculosus, verpackte die Algen gut, so dass das Untersuchungsmaterial frisch blieb, und stellte den eigentlichen Versuch am nächsten Tage an. Die jüngeren Theile der Pflanzen wurden abgeschnitten und kurze Zeit mit Wasser ausgekocht. Nach dem Abgiessen der braunen Brühe erschien das Gewebe der Algen grün. Ich spülte sie nun mit kaltem Wasser ab und übergoss sie mit Alkohol. Dieser nahm alsbald eine gelbgrünliche Farbe an, er wurde entfernt und durch eine neue Alkoholmenge ersetzt. Man erhält auf diese Weise eine prächtig grün gefärbte Chlorophylllösung, welche stark fluorescirt [1]).

Wir behandeln Blätter aus der Knospe von Elodea, Blätter von Funaria hygrometrica oder Farnprothallien (die beiden zuletzt genannten Objecte sind hier besonders zu empfehlen) mit Alkohol. Die Pflanzentheile werden farblos, und bei mikroskopischer Untersuchung erblickt man die von ihrem Pigment befreite protoplasmatische Grundmasse der Chlorophyllkörper in den Zellen. Bringen wir die Präparate mit einem Tropfen einer verdünnten wässerigen Lösung von Methylviolett in Berührung, so werden die entfärbten Chlorophyllkörperchen stark tingirt.

6. Der Chlorophyllfarbstoff.

In neuerer Zeit sind zahlreiche Versuche, zumal von Sachsse, Hansen und Tschirch, gemacht worden, den Chlorophyllfarbstoff in reinem Zustande aus grünen Pflanzentheilen zu isoliren. Diese Untersuchungen haben ebenso wie auch schon die älteren von G. Kraus [2]) zu dem Resultate geführt, dass das Chlorophyllpigment ein Gemisch zweier Farbstoffe, nämlich eines blaugrünen, des Kyanophylls, und eines gelben, des Xanthophylls, repräsentirt. Wir wollen hier aber auf die neueren Arbeiten nicht genauer eingehen, denn einmal besitzen ihre Resultate heute noch ein mehr phytochemisches als speciell pflanzenphysiologisches Interesse, und ferner sind die bei der Isolirung mehr oder minder reiner Chlorophyllpräparate zur Anwendung kommenden Methoden recht complicirter Natur, und ihre Handhabung eine sehr zeitraubende. Dagegen müssen wir die Untersuchungen von G. Kraus specieller berücksichtigen.

1) Vgl. Hansen, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 289.
2) G. Kraus, Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe. Stuttgart, 1872.

Sogen. Rohchlorophylllösungen können wir schliesslich aus beliebigen grünen Pflanzentheilen darstellen, aber es ist zweckmässig, um einen relativ reinen Chlorophyllextract zu gewinnen, junge Weizenpflanzen oder Elodeaexemplare als Untersuchungsmaterial zu verwenden. Wir schneiden die oberirdischen Theile junger Weizenpflanzen, die sich etwa bis zur Ausbildung des sechsten Blattes entwickelt haben, ab, oder wir sammeln eine nicht zu kleine Menge frischer Elodeapflanzen, bringen das Material in eine Porzellanschale und kochen es auf dem Wasserbade einige Zeit ($^1/_4$—$^1/_2$ Stunde lang) mit destillirtem Wasser aus. Die Brühe wird abgegossen, das Pflanzenmaterial mit Wasser ausgewaschen und nun in einem geräumigen Kolben mit starkem Alkohol übergossen. Die Extraction geht, zumal wenn man schwach erwärmt, ziemlich schnell vor sich. Es ist nothwendig, den Auszug im Dunkeln zu bereiten, da der Chlorophyllfarbstoff, wie wir später sehen werden, sehr leicht durch den Einfluss des Lichtes zersetzt wird. Die erhaltene Chlorophyllpigmentlösung besitzt eine prachtvoll grüne Farbe.

Das Blattgrün, wie dasselbe an eine protoplasmatische Grundmasse gebunden in den Pflanzenzellen vorkommt, ist nun auf keinen Fall als ein chemisches Individuum aufzufassen, sondern es stellt dasselbe ein Gemenge zweier Farbstoffe, des gelben Xanthophylls und des blaugrünen Kyanophylls, dar, wovon man sich leicht durch den folgenden Versuch überzeugen kann.

Wir bringen alkoholische Chlorophylllösung in einen Glascylinder, fügen ihr etwas Wasser hinzu, aber nur so viel, dass keine Trübung bemerklich wird, versetzen sie mit Benzol, schütteln tüchtig und überlassen die Flüssigkeit darauf der Ruhe. Die Mischung sondert sich schnell in eine untenstehende alkoholische, goldgelbe Xanthophylllösung und in eine darüber stehende blaugrüne Lösung des Kyanophylls in Benzol. Der gelbe Farbstoff ist leichter in Alkohol als in Benzol löslich, der blaugrüne umgekehrt leichter in Benzol als in Alkohol, und daher tritt die erwähnte Scheidung der beiden Pigmente bei der Ausführung des Versuchs hervor.

In den Zellen im Dunkeln erwachsener, gelber Pflanzentheile sind beträchtliche Mengen von Etiolinkörnern vorhanden (vergl. unter 10). Diese bestehen aus einer protoplasmatischen Grundmasse und einem gelben Farbstoff, den man isoliren kann, wenn man z. B. bei Lichtabschluss erwachsene etiolirte Weizen- oder Gerstenkeimpflanzen mit Alkohol extrahirt. Der Auszug besitzt eine schön gelbe Farbe. Das Pflanzenmaterial gewinnt man, indem man gequollene Weizen- oder Gerstenkörner auf feuchten Sägespänen aussäet und die sich entwickelnden jungen Keimlinge etwa 8 Tage lang im Dunkeln cultivirt.

7. Das Absorptionsspectrum und die Fluorescenz des Chlorophyllfarbstoffes.

Für den Zweck der spectroskopischen Untersuchung des Chlorophyllfarbstoffes eignen sich verschiedene Instrumente. Häufig genug wird noch der bekannte Bunsen'sche Spectralapparat benutzt, aber ich weiss aus eigener Erfahrung, dass es aus vielen Gründen weit bequemer ist, mit geradsichtigen Spectroskopen zu arbeiten. Die Aufstellung dieser Apparate macht gar keine Schwierigkeiten, und wenn man sie gegen eine weisse Wand oder einen weissen Fenstervorhang richtet, die

von der Sonne beschienen werden, so erhält man schöne Spectra. Für viele physiologische Zwecke genügt es vollkommen, wenn man mit kleinen Taschenspectroskopen arbeitet, die jetzt auch in Deutschland in vorzüglicher Qualität hergestellt werden. Oft ist es ferner werthvoll, Untersuchungen mit Hülfe eines Mikrospectralapparates, der mit dem Mikroskope in Verbindung gebracht wird, auszuführen. Die Firma Zeiss in Jena liefert einen derartigen Apparat von ABBE mit Scalenrohr und Vergleichsprisma in vorzüglicher Qualität [1]).

Bei Untersuchungen, welche den Zweck haben, die Lage der Absorptionsbänder des Chlorophyllpigments genau zu bestimmen, bedient man sich am zweckmässigsten solcher Apparate, welche mit Scalen versehen sind, die keine beliebige Theilung, sondern solche nach Wellenlängen besitzen. Die richtige Einstellung der Scala kann dann in einfacher Weise unter Zuhülfenahme der FRAUENHOFER'schen Linien geschehen.

Bei Untersuchungen mit dem Mikrospectralapparat werden die zu prüfenden Chlorophyllösungen in kleine Gläser mit flachem Boden gebracht und diese auf den Objecttisch gestellt. Handelt es sich darum, die Absorptionsspectra der Chlorophyllkörper von Algen, Moosblättern und Gewebeschnitten mit Hülfe eines Mikrospectralapparates zu studiren, so gelangen die Objecte auf einen Objectträger und werden nach Zusatz von Wasser oder Glycerin mit dem Deckglas bedeckt. Auch ganze Blätter kann man als Untersuchungsobjecte wählen.

Arbeitet man mit dem BUNSEN'schen Spectralapparat, mit geradsichtigen Apparaten oder Taschenspectroskopen, so werden die Chlorophyllösungen in geeignete Gläser mit planparallelen Wänden oder auch einfach in Reagensgläser eingefüllt und diese dicht vor dem Spalt aufgestellt. Sehr zweckmässig ist es, die Reagensgläser in dem in Fig. 5 abgebildeten, von GÄNGE construirten Stativ (vergl. die citirte Schrift dieses Autors, S. 119) aufzustellen.

Ein Stück harten, polirten Holzes *a b* von 40 Mm. Höhe und 30 Mm. Breite ist in Abständen von 10 Mm. mit 30 Mm. tiefen und 16 Mm. weiten verticalen Löchern versehen und dient als Träger der üblichen 15 Mm. dicken Reagensröhren. 15 Mm. unter dem oberen Rande befinden sich 10 Mm. weite, die verticalen Löcher horizontal durchbohrende, ganz durchgehende Oeffnungen, welche den Durchblick durch die Chlorophyllösungen in den Probirröhren auf die Lichtquelle (natürliches Licht oder Licht einer Petroleumflamme) gestatten. Die Löcher sind durch Dinte geschwärzt, um reflectirtes Licht möglichst auszuschliessen. An der unteren Fläche des Holzstückes ist eine Furche

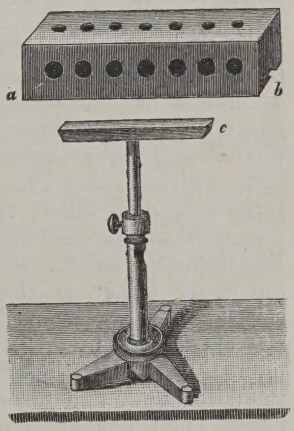


Fig. 5. Stativ zur Aufnahme von Reagensgläsern, welche Flüssigkeiten enthalten, deren Absorptionsspectrum ermittelt werden soll.

1) Genaue Angaben über die Methode der Untersuchung mit Hülfe der Spectralapparate, sowie Abbildungen derselben findet man bei GÄNGE, Lehrbuch der angewandten Optik, Braunschweig 1886, und in MÜLLER's Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 8. Auflage, herausgegeben von PFAUNDLER, B. 2, S. 206.

angebracht, vermittelst welcher dasselbe über ein entsprechend geformtes Stück Messing *c* geschoben werden kann, das seinerseits rechtwinklig auf einer in einen Stativfuss passenden Stange befestigt ist. Handelt es sich darum, die Absorptionsspectra verschiedener Flüssigkeiten (z. B. diejenigen einer normalen und einer zersetzten Chlorophylllösung) gleichzeitig zu beobachten, so wendet man mit Vortheil die von Gänge auf Seite 120 seines citirten Buches abgebildete und beschriebene Vorrichtung an.

Die Literatur über das Absorptionsspectrum des Chlorophyllfarbstoffes ist eine ausserordentlich ausgedehnte[1]). Es liegt mir hier ganz fern, auf die noch bestehenden Controversen genauer einzugehen; ich ziehe es vor, den Leser nur mit den optischen Eigenschaften einer alkoholischen Chlorophylllösung bekannt zu machen. Dieselbe besitzt in der That ein charakteristisches Absorptionsspectrum. Eine genaue Berücksichtigung der Literatur über die Absorptionsspectra verschiedener Chlorophyllpräparate würde hier auch einen viel zu grossen Raum einnehmen; die umständlichen Methoden zur Darstellung jener Präparate muss der Leser daher in den citirten Originalabhandlungen vergleichen.

Zur Gewinnung einer relativ reinen alkoholischen Chlorophylllösung werden, wie schon unter 6 angegeben worden ist, die Blätter junger Weizenpflanzen oder Pflanzen von Elodea canadensis zunächst mit Wasser ausgekocht, dann nach dem Abgiessen des Extracts mit Wasser ausgewaschen, um das Material endlich mit Alkohol auszuziehen. Diese alkoholische Chlorophylllösung muss man im Dunkeln bereiten. Sie wird sofort spectroskopisch untersucht. Das Absorptionsspectrum einer alkoholischen Chlorophylllösung ist in Fig. 6 dargestellt. Es sind 7 (eigentlich nur 6 wirkliche) Absorptionsstreifen vorhanden. Wenn die benutzte Lösung nicht sehr verdünnt ist, so erscheinen die 3 Bänder in der brechbaren Hälfte des Spectrums nicht von einander getrennt, sondern zu einer continuirlichen Absorption zusammengeflossen. Die 4 Bänder in der weniger brechbaren Hälfte des Spectrums sind hingegen noch bei einigermaassen erheblicher Concentration der Chlorophylllösung zu erkennen. Von ihnen ist zumal das erste Band im Roth zwischen den Frauenhofer'schen Linien *B* und *C* sehr charakteristisch, und selbst recht verdünnte Blattgrünlösungen zeigen diesen ersten Absorptionsstreifen deutlich. Will man das Spectrum lebender Blätter untersuchen, so verfährt man dabei in der Weise, wie Kraus auf S. 47 seiner citirten Schrift angiebt. Bei dem Studium der Absorptionsspectra sehr dünner Pflanzentheile, z. B. der Moosblätter, Farrenprothallien, Algen (ich experimentirte mit Fäden von Cladophora), unter Benutzung des Mikrospectralapparates, ist nur das erste Band im Roth und ferner eine continuirliche Endabsorption im brechbaren Theil des Spectrums, die durch Verschmelzung der Bänder *V*, *VI* und *VII* entsteht, zu sehen. Die Bänder *II*, *III* und *IV* erkennt man nicht.

Es ist unter 6 angegeben worden, dass der normale grüne Chlorophyllfarbstoff ein Gemenge zweier Farbstoffe, des Xanthophylls und Kyanophylls, repräsentirt. Es ist auch schon die Methode besprochen,

---

1) Vgl. Kraus, Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe, 1872; Pringsheim, Monatsber. d. Berliner Akademie, 1874 und 1875, und Sitzungsber. d. Berliner Akademie, 1886; Hansen, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 3, H. 1; Tschirch, Berichte d. Deutschen botan. Gesellschaft, B. 1.

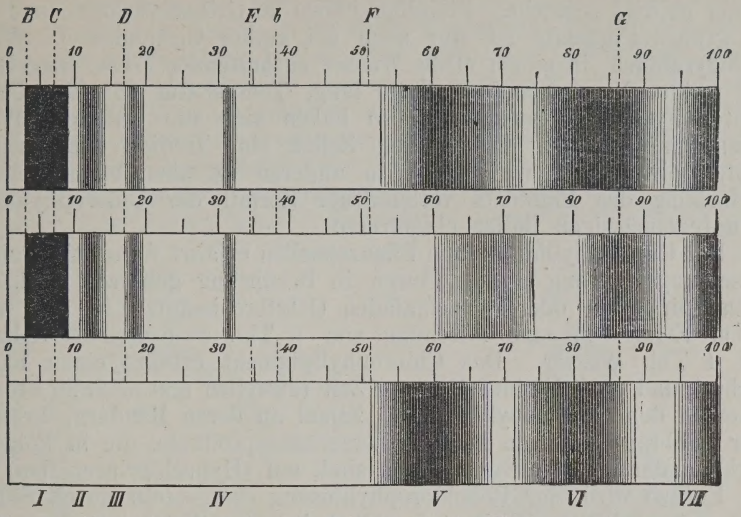


Fig. 6. Absorptionsspectren des Chlorophyllfarbstoffes nach KRAUS. Das obere Spectrum ist das des alkoholischen Extractes grüner Blätter, das mittlere das des in Benzol löslichen blaugrünen Bestandtheiles, das untere das des gelben Bestandtheiles. Die Absorptionsstreifen der beiden oberen Spectren sind im minder brechbaren Theile *B*—*E* nach einer mehr concentrirten, im stärker brechbaren Theile nach einer verdünnten Lösung angedeutet. Die Buchstaben *A*—*G* bedeuten die bekannten Frauenhofer'schen Linien des Sonnenspectrums, die Zahlen *I*—*VII* numeriren nach KRAUS die Absorptionsstreifen, vom rothen zum violetten Ende fortschreitend. Die Striche 0—100 theilen die Länge des Spectrums in 100 gleiche Theile.

welche man anwenden muss, um diese beiden Farbstoffe von einander zu trennen. Die Lösung des gelben Xantophylls (wenigstens die verdünnte Lösung) zeigt bei spectroskopischer Untersuchung nur drei Absorptionsstreifen, sämmtlich im Blau und Violett gelegen. Die blaugrüne Kyanophylllösung besitzt 7 Absorptionsstreifen: I im Roth, II im Orange, III im Gelb, IV im Grün, V, VI, VII im Blau und Violett.

Wenn man concentrirte alkoholische Chlorophylllösungen im auffallenden Licht betrachtet, so zeigt sich, dass dieselben eine rothe Farbe besitzen. Noch deutlicher und schöner lässt sich die rothe Farbe der Chlorophylllösung im auffallenden Licht zur Wahrnehmung bringen, wenn man mit Hülfe einer biconvexen Linse ein Sonnenbild an der Oberfläche der Lösung entwirft. Der Chlorophyllfarbstoff fluorescirt mit rothem Licht, wie auf die angegebene Art leicht festzustellen ist.

8. Die Zersetzung des Chlorophyllfarbstoffes.

Man stelle in Töpfen cultivirte, kräftige Exemplare von Tropaeolum majus ins Finstere, z. B. in einen Schrank. Ist die Temperatur nicht zu niedrig, so haben die Blätter bereits nach 8 Tagen auffallende Farbenveränderungen erfahren. Die älteren Blätter sehen, trotzdem sie noch saftig sind, gelb aus, während die jüngeren fleckig und die jüngsten noch völlig grün erscheinen. Der Lichtmangel hat, wie die mikroskopische Untersuchung dünner Schnitte aus dem Mesophyll der gelben Tropaeolumblätter lehrt, einen wesentlichen Einfluss auf die Chlorophyll-

körner geltend gemacht. Dieselben haben an Grösse verloren, und statt des grünen Pigments ist nur noch ein gelbes vorhanden [1]). Werden Spirogyrafäden in einem etwas Wasser enthaltenden Glase längere Zeit (bei meinen Versuchen 5—8 Tage lang, Temperatur 15—20° C) constanter Finsterniss ausgesetzt, so haben sich die Chlorophyllkörper wesentlich verändert. In manchen Zellen sind freilich noch grün gefärbte Spiralbänder vorhanden, in anderen ist aber bereits ein mit Verfärbung des Pigments verbundener Zerfall der Chlorophyllkörper zu unregelmässigen Ballen eingetreten.

Der Chlorophyllfarbstoff in Pflanzenzellen erfährt ferner tiefgreifende Zersetzungen, wenn er mit Säuren in Berührung gebracht wird. Wir legen Spirogyra- oder Zygnemafäden (letztere benutzte ich mit besonderem Erfolg) in eine Mischung von 1 Thl. concentrirter Salzsäure und 4 Thl. Wasser. Das Chlorophyllpigment erfährt einen Farbenwechsel, und nach Verlauf längerer Zeit (zuweilen erst nach 20 Stunden) treten in den Chlorophyllkörpern, zumal an deren Rändern, bräunlich oder rostbraun gefärbte Massen, Zersetzungsproducte, die in Folge der Wirkung der Salzsäure entstanden sind, auf (Hypochlorinreaction) [2]).

Ebenso wird eine Rohchlorophylllösung (hergestellt durch Behandlung grüner Pflanzentheile mit Alkohol) wesentlich verändert, wenn man sie mit Säuren versetzt. Versetzt man eine solche Lösung z. B. mit sehr wenig Salpeter- oder Salzsäure, so geht ihre schön grüne Farbe sofort verloren, und sie nimmt einen bräunlichen Farbenton an.

Die alkoholische Rohchlorophylllösung enthält freilich neben dem Chlorophyllpigment noch eine ganze Reihe anderweitiger Substanzen, aber trotzdem kann man dieselbe bequem benutzen, um den Nachweis zu liefern, dass der Clorophyllfarbstoff im hohen Grade lichtempfindlich ist. Im Dunkeln erhält eine alkoholische Chlorophylllösung sich lange Zeit unverändert; sie verfärbt sich nur ganz allmählich. Diffuses Licht wirkt nicht sehr schnell, directes Sonnenlicht dagegen sehr schnell verändernd auf die Rohchlorophylllösung ein; im directen Sonnenlicht ist eine solche Lösung bereits nach Verlauf einer halben Stunde sehr deutlich verfärbt. Lehrreich ist es auch, den Einfluss des Lichtes von verschiedener Brechbarkeit auf Rohchlorophylllösungen zu studiren. Es wird uns hier zum ersten Mal die Aufgabe gestellt, pflanzenphysiologische Experimente unter dem Einfluss des Lichts von verschiedener Brechbarkeit vorzunehmen, und es muss daher die Untersuchungsmethode, deren wir uns auch später bei manchen anderen Versuchen zu bedienen haben, specieller beschrieben werden.

Die fast concentrirte wässrige Lösung des doppelt-chromsauren Kalis lässt in nicht zu dicken Schichten das Roth, Orange, Gelb und einen Theil des Grün fast ungeschwächt passiren. Die Lösung des Kupferoxydammoniaks (dieselbe stellt man durch Auflösen von schwefelsaurem Kupferoxyd in Ammoniakflüssigkeit her) absorbirt im Gegentheil diejenigen Strahlen, welche das doppelt-chromsaure Kali durchlässt, verhindert aber den übrigen Strahlen, also einem Theil des Grün, dem Blau, Indigo und Violett, den Durchtritt nicht. Mit Hülfe der beiden angeführten Lösungen ist man demnach im Stande, das weisse Licht nahezu genau in die weniger und die stärker brechbare Hälfte zu zerlegen. Zur Aufnahme der farbigen Lösungen benutzt man sehr allgemein doppeltwandige

1) Vgl. Sachs, Botanische Zeitung, 1864, S. 38.
2) Vgl. Pringsheim, Jahrbücher für wissensch. Botanik, B. 12.

Glocken (vergl. Fig. 7). Der Zwischenraum zwischen den beiden Glaswänden der Glocken, also auch die Dicke der farbigen Flüssigkeitsschicht, beträgt gewöhnlich etwa 1 Ctm. Zur Abhaltung gemischten weissen Lichts stellt man die Glocken bequem in mit Sand gefüllte Schüsseln. Die unter die Glocken gebrachten Untersuchungsobjecte empfangen dann nur gemischtes gelbes oder gemischtes blaues Licht. Ich benutzte auch häufig bei Experimenten über den Einfluss des Lichtes von verschiedener Brechbarkeit auf physiologische Processe innen und aussen mit schwarzem Papier beklebte Pappkästen, deren hintere Wand durch

Fig. 7.

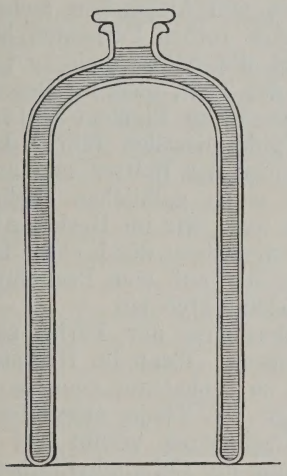


Fig. 8.

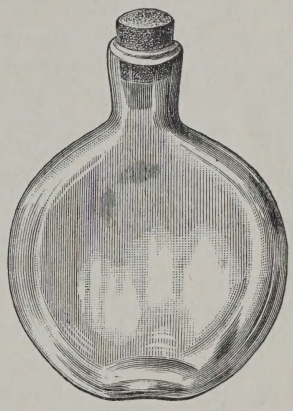


Fig. 7. Doppeltwandige Glasglocke zur Aufnahme farbiger Flüssigkeiten, im Längsschnitt dargestellt.

Fig. 8. Glasflasche mit parallelen Wänden zur Aufnahme farbiger Flüssigkeiten.

eine wohl verschliessbare Klappe gebildet wird, während die vordere Wand mit einer grossen Oeffnung versehen ist. Vor diese Oeffnung werden in geeigneter Weise Glasflaschen mit parallelen Wänden, welche mit den farbigen Flüssigkeiten angefüllt sind, angebracht (vgl. Fig. 8). Die in die doppeltwandigen Glocken oder in die zuletzt erwähnten Glasflaschen eingefüllten Lösungen des doppelt-chromsauren Kalis und des Kupferoxydammoniaks werden einer spectroskopischen Untersuchung unterzogen, indem man das Rohr des Spectroskops in die Glocken einführt oder die Glasflaschen mit parallelen Wänden dicht vor den Spalt bringt. Man muss die Flüssigkeiten nur in einen derartigen Concentrationsgrad versetzen, dass die eine, wie es oben angegeben wurde, nur die weniger, die andere nur die stärker brechbaren Lichtstrahlen durchgehen lässt.

Wenn man nun Rohchlorophylllösungen dem Einfluss des gemischten gelben und des gemischten blauen Lichtes exponirt, so ergiebt sich, dass die weniger brechbaren Strahlen die Zersetzung (Verfärbung) des Chlorophyllfarbstoffes weit schneller als die stärker brechbaren Strahlen herbeiführen. Die sogen. chemischen Strahlen, d. h. diejenigen, welche das Chlorsilber zu zersetzen vermögen, betheiligen sich an der Chlorophyllfarbstoffzersetzung also nur in untergeordnetem Grade, denn das

gemischte blaue Licht ist reich, das gemischte gelbe Licht arm an diesen chemischen Strahlen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man photographisches Papier dem Licht von verschiedener Brechbarkeit aussetzt [1]).

9. Die herbstliche Färbung der Blätter und die winterliche Färbung ausdauernder Pflanzentheile.

Viele Blätter färben sich im Herbst vor dem Abfallen roth. Diese Erscheinung lässt sich besonders schön an den Blättern von Rhusarten, sowie an denjenigen von Cornus sanguinea und Ampelopsis hederacea studiren. Die genannten Blätter lassen den rothen Farbenton hauptsächlich an ihrer Oberseite erkennen, und die mikroskopische Untersuchung zarter Querschnitte lehrt uns in der That, dass ins Besondere die Zellen des Palissadenparenchyms das rothe Pigment enthalten. Dieses ist im Zellsaft aufgelöst. Die Epidermiszellen führen keinen Farbstoff. Bei der herbstlichen Gelbfärbung der Blätter nehmen die sich desorganisirenden Chlorophyllkörner einen gelblichen Farbenton an, wie wir dies z. B. feststellen können, wenn wir im Herbst Ahornblätter untersuchen. Einige Blätter, z. B. diejenigen der Eichen, färben sich im Herbst braun, eine Erscheinung, die auf eine Braunfärbung der Zellhäute, sowie des Zellinhaltes zurückzuführen ist.

Interessant sind ferner die Veränderungen der Farbe solcher Pflanzentheile, die den Winter über ausdauern. Wenn im Herbst oder Winter die ersten Fröste eingetreten sind, so beobachtet man, dass die dem Licht zugewendete Fläche der Zweige von Thuja orientalis eine braune Farbe angenommen hat. Diese Erscheinung beruht auf einer durch die Kälte hervorgerufenen Entmischung des Chlorophyllfarbstoffes. Das gebildete braune Pigment geht in das Protoplasma über, und schliesslich wird auch die plasmatische Grundmasse der Chlorophyllkörner desorganisirt. Bei der Untersuchung zarter Querschnitte der Thujazweige ist das Vorhandensein des braun gefärbten Inhaltes der Palissadenzellen leicht festzustellen [2]). Werden braun gefärbte Thujazweige in ein warmes Zimmer gebracht, so werden die Chlorophyllkörner regenerirt, und die Untersuchungsobjecte ergrünen wieder. Lichtzutritt ist dazu nicht erforderlich. Gebräunte Zweige von Thuja orientalis, die ich bei 15—20 ° C. im Dunkeln hielt, waren nach 8 Tagen aufs Neue grün geworden.

Die winterliche Rothfärbung ausdauernder Pflanzentheile ist auf die Bildung eines im Zellsafte löslichen rothen Pigments zurückzuführen, während die Chlorophyllkörper intact bleiben, höchstens Veränderungen ihrer Lage in den Zellen erfahren. Untersuchen wir im Winter Querschnitte der Blätter von Mahonia aquifolium, so ergiebt sich, dass besonders die Zellen des schön entwickelten Palissadenparenchyms rothes Pigment enthalten [3]).

---

1) Weitere Literatur vgl. bei Detmer, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 18.

2) Specielle Angaben über den anatomischen Bau der Zweige von Thuja (freilich Th. occidentalis, nicht Th. orientalis) findet man bei Frank, Pringsheim's Jahrbücher, B. 9, S. 159.

3) Ueber die winterliche Färbung ausdauernder Pflanzentheile vgl. H. v. Mohl, Vermischte Schriften, S. 375, und G. Haberlandt, Sitzungsberichte d. Akademie d. Wiss. zu Wien, B. 72, Abthl. I, Aprilheft.

10. Die Entstehung des Chlorophyllfarbstoffes.

Einige Samen von Lupinus werden in Gartenerde, die sich in Blumentöpfen befindet, im Dunkeln, z. B. in einem Schrank, zum Keimen gebracht. Es ist gar nicht so ganz leicht, einen Raum herzustellen, in welchem nahezu absolute Dunkelheit herrscht, und wenn man Pflanzen bei möglichst vollkommenem Lichtabschluss cultiviren will, so darf man diese Thatsache nicht aus dem Auge verlieren. Für unseren Zweck genügt es übrigens, wenn man die mit den Samen beschickten Blumentöpfe in dem Schrank unter einem undurchsichtigen Papprecipienten aufstellt und das Schlüsselloch des Schrankes sorgfältig verstopft.

Das hypocotyle Glied und die Cotyledonen treten bald über die Erdoberfläche hervor, wenn die Keimungsbedingungen einigermaassen günstige sind; aber die Keimblätter erscheinen nicht grün, wie diejenigen am Licht erwachsener Lupinenkeimpflanzen, sondern sie besitzen eine gelbe Farbe. Untersuchen wir Querschnitte der Cotyledonen mikroskopisch, so erkennen wir die Epidermis, die Gefässbündel, sowie das Blattparenchym deutlich. Die Zellen des letzteren, zumal die mehr peripherisch gelegenen, enthalten, abgesehen von sonstigen Inhaltsbestandtheilen, kleine, gelb gefärbte Körnchen, die Etiolinkörner. Setzt man die im Dunkeln cultivirten Keimlinge dem Licht aus, so ergrünen sie bald, und wir finden nun in den Zellen des Blattparenchyms Chlorophyllkörner. Dieselben sind unter dem Einfluss des Lichtes aus den Etiolinkörnern hervorgegangen, unterscheiden sich von diesen aber nicht allein durch ihre grüne Farbe, sondern ebenso durch ihre beträchtlichere Grösse. Werden Keimpflanzen von Phaseolus oder Pisum im Dunkeln zur Entwickelung gebracht, so erzeugen dieselben lange, weiss gefärbte Stengeltheile und kleine, gelbe Blätter. Ich fand, dass die Blätter von Erbsenkeimpflanzen, die im Finstern mehrere Internodien gebildet hatten, und welche dann ans Licht gelangten, nicht sämmtlich, sondern nur theilweise ergrünten. Die jüngeren Blätter bildeten freilich am Licht Chlorophyll. Die älteren blieben aber gelb.

Die meisten Pflanzen bilden allein bei Lichtzutritt normales grünes Chlorophyll; einige Gewächse vermögen aber auch im Finstern zu ergrünen. Werden z. B. Samen von Pinus silvestris in Gartenerde ausgesäet und bei Lichtabschluss zur Keimung gebracht (die Keimung geht relativ langsam vor sich), so bricht zunächst die Wurzel hervor. Dann streckt sich das hypocotyle Glied, erscheint aber zunächst knieförmig gebogen, weil die Cotyledonen noch im Samen stecken. Endlich treten die Keimblätter aus dem Boden hervor, das hypocotyle Glied streckt sich dann gerade und die Keimung ist vollendet. Auffallend erscheint vor allem der Umstand, dass die Cotyledonen grün sind. Ich habe mich davon überzeugt, dass dies Ergrünen der Pinuskeimblätter in einem finstern Raume erfolgt, in welchem Weizenkeimpflanzen nicht ergrünen, sondern nur eine gelb gefärbte Plumula entwickeln.

Die im Finstern erwachsenen Keimlinge mono- sowie dicotyler Pflanzen (Phaseolus, Pisum, Raphanus, Triticum, Zea etc.) ergrünen nicht nur, wenn sie relativ hellem Licht ausgesetzt werden, sondern die Chlorophyllbildung erfolgt auch schon in einem sehr gedämpften Licht, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Untersuchungsobjecte an der hinteren Wand eines Zimmers aufstellt und sie

hier noch in geeigneter Weise beschattet. Man kann Pflanzen ferner auch in künstlichem Licht zum Ergrünen bringen. So stellte ich im Dunkeln erwachsene Weizenkeimlinge mit 2—3 Ctm. langer Plumula 15 Ctm. entfernt von der Flamme einer Petroleumlampe auf. Die Keimlinge befanden sich mit etwas Wasser in einer Krystallisirschale. Diese von dem Licht, welches von der Lampe ausging, beleuchteten Untersuchungsobjecte ergrünten deutlich in wenigen Stunden; Controlpflanzen, die im Dunkeln gehalten wurden, ergrünten nicht.

Lehrreich ist es ferner, den Einfluss des Lichtes von verschiedener Brechbarkeit auf die Chlorophyllbildung zu studiren. Zu dem Ende bringt man z. B. Weizenkeimlinge, deren Plumula etwa 2 Ctm. lang ist, und die sich im Finstern entwickelt haben, mit etwas Wasser in kleine Glasschälchen. Diese werden nun unter doppeltwandige Glasglocken gestellt, von denen die eine mit einer Auflösung von doppeltchromsaurem Kali angefüllt ist, während die zweite eine Auflösung von Kupferoxydammoniak enthält (vgl. unter 8). Man kann sich leicht davon überzeugen, indem man zugleich Stücke photographischen Papiers unter die Glocken legt, dass das gemischte gelbe Licht fast völlig frei von sogen. chemischen Strahlen ist, während das Licht, welches die Kupferoxydammoniaklösung passirt hat, die Zersetzung des Chlorsilbers sehr schnell bewirkt. Als ich die Apparate am Morgen eines trüben Novembertages in einem nach Süden gelegenen Zimmer bei einer Temperatur von ca. 20 ° C. in einer Entfernung von 5 M. vom Fenster aufgestellt hatte, fand ich die Plumula der Weizenkeimlinge nach 24 Stunden unter dem Einfluss des gemischten gelben Lichtes völlig ergrünt, während diejenigen Keimpflanzen, welche der Einwirkung des gemischten blauen Lichtes ausgesetzt gewesen waren, eine Plumula von hellgrüner Farbe besassen. Setzt man die Apparate hingegen dem directen Sonnenlicht aus, dann erfolgt das Ergrünen im gemischten blauen Licht schneller als im gemischten gelben Licht. Dem Resultat dieses letzteren vergleichenden Experiments gegenüber lassen sich aber, wenn man nicht ganz besondere Vorsichtsmaassregeln in Anwendung bringt, Bedenken geltend machen, denn ich habe mich davon überzeugt, dass sich die Luft unter einer mit Kupferoxydammoniak beschickten doppeltwandigen Glocke, wenn sie dem Einfluss directen Sonnenlichtes ausgesetzt wird, viel stärker erwärmt als die Luft unter der mit doppelt-chromsaurem Kali angefüllten Glocke, weil die Lösung in jener ersteren die Wärmestrahlen stark absorbirt. Trotzdem ist es sicher, dass es nicht als gleichgültig für das Resultat des Experiments betrachtet werden darf, ob man die im Dunkeln cultivirten Untersuchungsobjecte dem diffusen Licht oder dem directen Sonnenlicht preisgiebt. Werden Weizenkeimlinge mit gelber Plumula dem diffusen, andere gleichzeitig dem directen Sonnenlicht ausgesetzt, so ergrünen jene schnell, z. B. im Laufe von drei Stunden, während diese weit langsamer normalen Chlorophyllfarbstoff erzeugen. Wir haben nun unter 8 gesehen, dass sich das Chlorophyllpigment in alkoholischen Extracten aus grünen Pflanzen im directen Sonnenlicht sehr schnell zersetzt (verfärbt), während diffuses Licht dieselbe Wirkung sehr langsam geltend macht, und diese Thatsache muss bei der Erklärung der im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Erscheinungen Beachtung finden. Im directen Sonnenlicht, mag dasselbe direct als solches, oder nachdem es eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali passirt hat, auf Keimlinge einwirken, ergrünen diese langsam, weil das entstehende Chlorophyll-

pigment zum grossen Theil wieder zerstört wird. Im diffusen Licht, wie auch im directen Sonnenlicht, welches eine Auflösung des Kupferoxydammoniaks passirt hat, kann keine energische Chlorophyllzersetzung erfolgen, deshalb häuft sich das entstehende Blattgrün schnell in den Zellen der Keimpflanzen an. Schwaches diffuses Licht wirkt kaum mehr zersetzend auf den Chlorophyllfarbstoff ein, und wenn man Keimpflanzen weit entfernt vom Fenster unter doppeltwandigen Glocken aufstellt, so ergrünen sie im gemischten gelben Licht schneller als im gemischten blauen, weil ersteres fast lediglich seine grössere chlorophyllbildende Kraft geltend macht, während die chlorophyllzersetzende sehr in den Hintergrund tritt[1]).

Will man untersuchen, ob die dunkeln Wärmestrahlen ein Ergrünen im Finstern erwachsener Keimlinge hervorrufen können, so bringt man z. B. Weizenkeimlinge mit gelber Plumula, die sich in kleinen Gläschen befinden, unter doppeltwandige, mit einer Auflösung von Jod in Schwefelkohlenstoff angefüllte Glasglocken. Bei hinreichender Concentration lässt diese Lösung gar keine Lichtstrahlen, wohl aber die Wärmestrahlen passiren. Die an ihrem unteren Rande mit Sand umgebenen Glocken werden dem directen Sonnenlicht oder diffusem Tageslicht ausgesetzt: ein Ergrünen der Untersuchungsobjecte tritt aber nicht ein.

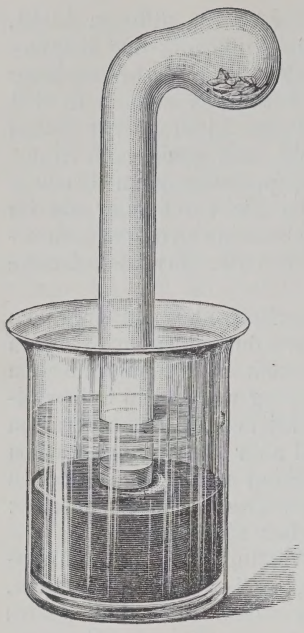
Handelt es sich um das Studium der Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von den Temperaturverhältnissen, so ist es z. B. bequem, Gerstenkeimlinge als Untersuchungsobjecte zu benutzen. Eine ganze Anzahl kleiner Blumentöpfe füllen wir mit Gartenerde an, säen Gerstenkörner in jeden Topf und stellen dieselben ins Finstere. Wenn die Plumula der Pflänzchen etwa 2 Ctm. Länge erreicht hat, so bringen wir einen Blumentopf vor das Fenster eines nach Norden gelegenen Zimmers, in welchem eine Temperatur von 6° C. herrscht. Ein anderer Topf wird in einem benachbarten Zimmer, in welchem das Thermometer 20° C. anzeigt, aufgestellt. Die Pflanzen sind also gleichen Beleuchtungsverhältnissen, aber verschiedener Temperatur ausgesetzt, und es ergiebt sich, dass das Ergrünen bei 6° C. weit langsamer als bei 20° C. erfolgt. Bei 30° C. geht die Chlorophyllbildung noch etwas schneller als bei 20° C. vor sich, bei 37° C. wieder langsamer, und bei 45° C. findet kein Ergrünen mehr statt. Um die Pflanzen Temperaturen von 30, 37 und 45° C. auszusetzen, stellen wir sie in Thermostaten auf, die durch Heizung auf diese Temperaturen gebracht worden sind (Abbildung und Beschreibung eines geeigneten Thermostaten findet man im zweiten Abschnitt bei Gelegenheit der Untersuchungen über den Wurzeldruck). Es ist noch zu bemerken, dass die Untersuchungsobjecte, bevor sie beleuchtet werden, einige Zeit in den Räumen von genau bekannter Temperatur verweilt haben müssen, damit sich ihnen sowie den Töpfen und dem Bodenmaterial diese mitgetheilt hat. Es existiren nach dem Gesagten Temperaturminima, Optima und Maxima für den Ergrünungsprocess der Pflanzen. Die Lage derselben ist für verschiedene Pflanzen aber keineswegs genau die nämliche[2]).

Endlich wollen wir noch den Nachweis liefern, dass der Ergrünungsprocess am Licht nicht bei Sauerstoffausschluss erfolgen kann. Wir füllen zwei retortenartige Gefässe (*a* und *b*) mit ausgekochtem und in verschlos-

---

1) Vgl. Wiesner, Sitzungsberichte d. Akademie d. Wiss. in Wien, B. 69, I. Abtheilung.

2) Vgl. Wiesner, Die Entstehung des Chlorophylls in den Pflanzen, Wien, 1877.



senen Gefässen wieder abgekühltem Wasser an, bringen einige im Dunkeln erwachsene Weizenkeimlinge in das Wasser und stellen die Gefässe derartig auf, dass ihre Mündungen unter Quecksilber tauchen (vgl. Fig. 9). Nun verdrängen wir das Wasser in dem Apparat *a* bis auf einen kleinen Rest durch reines Wasserstoffgas, das Wasser im Apparat *b* aber durch atmosphärische Luft. Werden die Gefässe jetzt dem Einflusse diffusen Lichtes ausgesetzt, so ergrünen die Keimlinge in *b* schnell, diejenigen in *a* aber nicht [1]).

Es sei noch bemerkt, dass man das Wasserstoffgas aus Zink durch Uebergiessen desselben mit verdünnter Schwefelsäure herstellt, und zur Reinigung Lösungen von salpetersaurem Silberoxyd und übermangansaurem Kali passiren lässt.

Fig. 9. Retortenartiges Gefäss, dessen Mündung in Quecksilber eintaucht.

11. Die Sauerstoffproduction bei der Assimilation.

Unter dem Einfluss des Lichtes findet in den Chlorophyllkörpern die Zersetzung von Kohlensäure statt. Der Sauerstoff wird abgeschieden und kann, wenn man geeignete Untersuchungsobjecte benutzt, leicht als solcher nachgewiesen werden.

Wir bringen in ein Glas etwa 200 Ccm. Brunnenwasser, in das wir nicht zu viel reine Kohlensäure einleiten. Die Kohlensäure wird aus Marmor durch Uebergiessen desselben mit verdünnter Salzsäure entwickelt und sie muss zur Befreiung von etwa mitgerissener Salzsäure, bevor sie in das Brunnenwasser eintritt, eine Auflösung von doppeltkohlensaurem Natron passiren. Als Untersuchungsobject wählen wir zunächst ein ziemlich langes Sprossende von Hippuris vulgaris, das, wie es Fig. 10 zeigt, unter dem Wasserspiegel mit seiner Basis in ein mit Wasser angefülltes Probirglas hineinragt. Die Vorrichtung wird nunmehr einige Zeit dem directen Sonnenlichte ausgesetzt. Es zeigt sich, dass von der Schnittfläche des Untersuchungsobjectes Gasblasen in dem Wasser emporsteigen, und in dem Probirglase sammelt sich nach und nach eine erhebliche Gasmenge an. Wenn wir die Mündung des Rea-

Fig. 10. Apparat zum Auffangen des von assimilirenden Wasserpflanzen producirten Sauerstoffs.

1) Vgl. Detmer, Landwirthschl. Jahrbücher, B. 11.

gensrohres schliesslich unter Wasser mit dem Finger verschliessen, dasselbe umkehren und einen glimmenden Span einführen, so brennt derselbe sofort mit lebhaft leuchtender Flamme. Unsere Pflanze hat also Sauerstoff producirt.

Dies ungemein lehrreiche Experiment zur Nachweisung der Sauerstoffabscheidung assimilirender Pflanzen kann auch in etwas modificirter Weise angestellt werden, vergl. Fig. 11. Eine ganze Anzahl Zweigstücke von Elodea oder Ceratophyllum wird unter einen Trichter in ein mit kohlensäurehaltigem Wasser angefülltes Glas gebracht. Ueber die sich noch unter dem Wasserspiegel befindende Mündung des Trichterrohres wird ein mit Wasser angefülltes Probirglas gestülpt, und der Apparat dem directen Sonnenlicht ausgesetzt. Der Sauerstoff oder, besser gesagt, die sauerstoffreiche Luft sammelt sich, wie bei der Ausführung des vorigen Experimentes, in dem Reagensglase an.

Fig. 11.

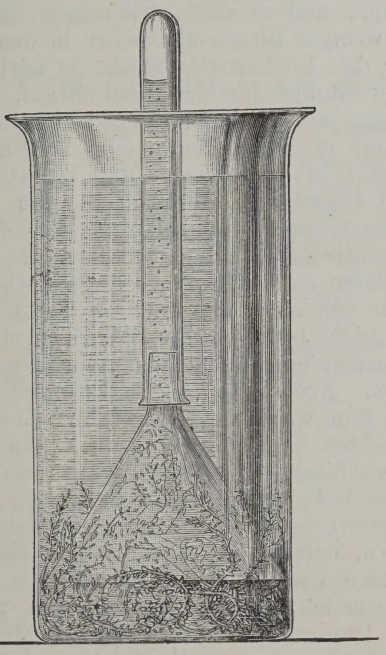


Fig. 12.

Fig. 11. Apparat zum Auffangen des von assimilirenden Wasserpflanzen producirten Sauerstoffs.

Fig. 12. Apparat zur Beobachtung der Gasblasenabscheidung assimilirender Wasserpflanzen.

Ein Glascylinder wird mit Brunnenwasser, in das wir, wenn dasselbe arm an freier Kohlensäure ist, eine kleine Menge dieses Gases eingeleitet haben, angefüllt. Wir bringen nun ein Zweigstück von Elodea oder Hippuris, das wir zweckmässig an einen Glasstab angebunden haben, in die Flüssigkeit (vergl. Fig. 12) und werden beobachten, dass aus der Schnittfläche am oberen Ende der Pflanzentheile bei Lichtzutritt Gasblasen entweichen. Die Anzahl der aus sauerstoffreicher Luft bestehenden Gasblasen lässt ohne Weiteres auf die Energie

schliessen, mit der die grünen Pflanzentheile assimiliren. Im directen Sonnenlicht z. B. scheiden Elodeazweige häufig einen so lebhaften Strom feiner Blasen ab, dass man die Zahl der in bestimmter Zeit entweichenden Blasen nicht oder nur mühsam bestimmen kann. Andere Zweige der nämlichen Pflanze assimiliren unter denselben Umständen weniger energisch. Die aus den Schnittflächen von Hippuriszweigen entweichenden Gasblasen sind ziemlich gross und treten nicht in so übermässiger Anzahl hervor.

Ohne näher auf die Beziehungen zwischen der Intensität des Lichtes einer- und der Energie der Assimilation andererseits einzugehen, ist es doch leicht, sich davon zu überzeugen, dass die Sauerstoffabscheidung grüner Pflanzentheile im hellen diffusen Licht lebhafter als im mehr gedämpften Lichte vor sich geht. Ein an einem Glasstab festgebundenes Elodeazweigstück wird unter Wasser dem Einfluss hellen diffusen Lichtes ausgesetzt. Wir ermitteln die Zahl der Blasen, welche in bestimmter Zeit, z. B. in einer oder in fünf Minuten, aus der Schnittfläche hervortritt. Nun stellen wir eine mattgeschliffene Glasplatte vor unserem Apparat auf, und es wird sich zeigen, dass jetzt in einer oder in fünf Minuten weniger Blasen als vorher in dem Wasser emporsteigen. Beschatten wir den Elodeazweig stark, so hört die Assimilation, damit auch die Sauerstoffproduction, gänzlich auf.

Elodea- oder Hippuriszweige werden in Brunnenwasser, in welches man eventuell etwas Kohlensäure eingeleitet hat, sehr hellem diffusen Licht oder dem directen Sonnenlicht ausgesetzt. Man ermittelt die in bestimmter Zeit entweichende Blasenzahl. Man deckt nun eine mit einer Lösung von doppelt-chromsaurem Kali gefüllte doppeltwandige Glasglocke über das die Pflanzentheile enthaltende Gefäss, um abermals die Zahl der entweichenden Blasen zu bestimmen. Dann entfernen wir die Glocke, um sie, nachdem wir abermals die Blasenzahl ermittelt haben, die im hellen diffusen Licht oder im directen Sonnenlicht ausgeschieden wird, durch eine mit Kupferoxydammoniak angefüllte doppeltwandige Glasglocke zu ersetzen. Auch unter diesen Umständen stellen wir die Blasenzahl fest. Man thut wohl, zur Controle der Temperaturverhältnisse während der einzelnen Stadien des Versuchs ein Thermometer in das die Untersuchungsobjecte umgebende Wasser zu bringen. Auf die im Vorstehenden angegebene Weise gelingt es, wovon ich mich überzeugte, sehr leicht, die interessante Thatsache festzustellen, dass die weniger brechbaren Strahlen, welche die Lösung des doppelt-chromsauren Kalis passirt haben, eine fast ebenso energische Sauerstoffabscheidung aus grünen Pflanzentheilen hervorrufen, wie das gemischte weisse Licht, während dieser Process der Sauerstoffabscheidung unter dem Einfluss der brechbareren Strahlen, welche die Kupferoxydammoniaklösung passiren können, mit nur sehr geringer Energie erfolgt [1]).

Elodea- oder Hippuriszweige werden nebst einem Thermometer in kohlensäurehaltiges Wasser in ein Becherglas gebracht. Die Temperatur des Wassers möge etwa 12° C. betragen. Wir ermitteln die Blasenzahl, welche die Untersuchungsobjecte in bestimmter Zeit, z. B. in 1, 3 oder 5 Minuten bei Lichtzutritt abscheiden. Jetzt erwärmen wir das Wasser im Becherglas, ohne die Pflanzen aus demselben zu entfernen, bis auf etwa 24° C. Es wird sich zeigen, dass die von den Elodea- oder Hippuriszweigen producirte Blasenzahl jetzt erheblich

1) Genauere Angaben über den Einfluss des Lichtes von verschiedener Brechbarkeit auf den Assimilationsprocess finden sich in meinem Lehrbuche der Pflanzenphysiologie.

grösser ausfällt, als bei niederer Temperatur. Zu achten ist natürlich darauf, dass die Pflanzen bei den vergleichenden Versuchen möglichst genau derselben Lichtintensität ausgesetzt sind; man stellt die Experimente daher am besten bei völlig wolkenlosem Himmel an. Das Temperaturoptimum für die Sauerstoffabscheidung von Elodea und Hippuris, welches übrigens noch nicht genauer ermittelt ist, dürfte etwa bei 32° C. anzunehmen sein. Bei Temperaturen, die jenseits dieses Temperaturoptimums liegen, erfolgt die Sauerstoffabscheidung wieder langsamer[1]).

Einige Elodeazweige setzen wir in kohlensäurehaltigem Brunnenwasser, das zuvor mit Chloroform geschüttelt worden ist, dem Einfluss des Lichtes aus. Die Sauerstoffabscheidung dauert merkwürdig lange (bei meinen Versuchen über $^1/_4$ Stunde) fort; endlich erlischt sie in Folge der giftigen Wirkung des Chloroforms gänzlich[2]).

Will man den Nachweis liefern, dass chlorophyllfreie Pflanzentheile nicht zu assimiliren vermögen, so braucht man z. B. nur Wurzelstücke in kohlensäurehaltigem Wasser dem Licht auszusetzen. Sauerstoffabscheidung erfolgt nicht.

12. Die Kohlensäure und der Assimilationsprocess.

Die Kohlensäure, welche im Assimilationsprocess verarbeitet wird, entstammt ihrer Gesammtmasse nach in letzter Instanz der atmosphärischen Luft. Diese repräsentirt ein Gasgemisch, das, abgesehen von einigen unwesentlichen Beimischungen, aus etwa 80 Volumprocent Stickstoff, 20 Volumprocent Sauerstoff und wenig Kohlensäure (in 10 000 Volumthl. Luft sind nur 3 Volth. CO_2 vorhanden) besteht. Dass die Luft Sauerstoff enthält, lässt sich leicht demonstriren. Man befestigt an dem einen Ende eines zweimal in einem rechten Winkel gebogenen dicken Drahtes ein mit Alkohol getränktes Stück Watte. Der Alkohol wird entzündet und ein umgekehrt gehaltener Glascylinder über die Flamme gestülpt. Taucht man die Mündung des Cylinders jetzt schnell unter Wasser, so erhebt sich die Flüssigkeit sogleich in demselben, während die Flamme alsbald erlischt. Der Alkohol bedarf des Sauerstoffes zu seiner Verbrennung; er entnimmt ihn der Luft im Glascylinder, und in dem Maasse, in welchem der Sauerstoff verschwindet, steigt das Wasser in die Höhe.

Dass die atmosphärische Luft Kohlensäure enthält, ist ebenfalls leicht zu beweisen. Ein Luftstrom, den man mit Hülfe einer Wasserluftpumpe oder eines Tropfaspirators erzeugt, wird zu dem Zweck durch klares Barytwasser geleitet. Dieses trübt sich dabei allmählich, weil die Kohlensäure eine Abscheidung von kohlensaurem Baryt bedingt. Bei genauen quantitativen Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft muss die Menge der den Apparat durchstreichenden Luft mit Hülfe einer Gasuhr gemessen werden. (Ausführliche Angaben über die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes von Gasgemischen vergl. im dritten Abschnitt bei Untersuchung der Athmungsvorgänge).

Das Wasser ist im Stande, eine nicht unerhebliche Luftmenge zu absorbiren. Wird ein etwa bis zur Hälfte mit Brunnenwasser gefülltes Glas unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt, und evacuirt man nun, so entweicht die im Wasser aufgelöste Luft alsbald, weil der auf

1) Vgl. Heinrich, Versuchsstationen, B. 13, S. 136.
2) Vgl. Detmer, Landwirthschaftliche Jahrbücher, B. 11.

dem Wasser lastende Luftdruck schnell sinkt. Versetzt man etwas Wasser mit klarem Kalk- oder Barytwasser, so entsteht eine mehr oder minder erhebliche Trübung der Flüssigkeit, weil sich kohlensaurer Kalk resp. Baryt abscheidet. Freilich beweist das Auftreten dieser Trübung nicht streng, dass das Wasser freie Kohlensäure in Lösung enthält; sie kann auch durch Kohlensäure verursacht werden, die in lockerer Bindung im Kalkbicarbonat des Wassers vorhanden ist.

Ohne die Gegenwart von Kohlensäure in den die Pflanzen umgebenden Medien (Luft oder Wasser) ist keine Assimilation, keine Bildung organischer Substanz und natürlich auch keine Sauerstoffproduction möglich. Der Nachweis, dass in der grünen Pflanzenzelle nur dann organische Körper neu erzeugt werden, wenn es nicht an Kohlensäure mangelt, soll später geliefert werden. Hier wollen wir ein Experiment ausführen, dessen Resultat deutlich zeigt, dass die chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen nur dann Sauerstoff produciren, wenn ihnen Kohlensäure zur Disposition steht. Ein Glaskolben von etwa 400 Ccm. Capacität wird mit 300 Ccm. Brunnenwasser angefüllt. Wir bringen nun eine erhebliche Menge Elodeapflanzen in das Wasser, verschliessen die Kolbenmündung mit einem durchbohrten Kautschukkork und führen in die Bohrung den einen Schenkel eines Glasrohres ein, das durch seinen anderen Schenkel mit einem U-förmigen Glasrohre in Verbindung steht, welches vorher mit Bimssteinstückchen, die mit Kalilauge getränkt sind, und mit Stückchen Aetzkali angefüllt worden ist (vgl. Fig. 13). Die Pflanzen leiden keinen Luftmangel, denn die Luft kann durch das U-förmige Rohr zum Wasser gelangen. Der Zutritt von Kohlensäure aus der Atmosphäre zu den Pflanzen ist dagegen ausgeschlossen. Setzen wir unseren Apparat dem Einfluss des directen Sonnenlichtes aus, so sehen wir, dass die Pflanzen eine lebhafte Sauerstoffabscheidung auf Kosten der im Wasser gelösten Kohlensäure unterhalten. Wir fassen bestimmte Elodeaexemplare genauer ins Auge und bestimmen von Zeit zu Zeit, etwa alle halbe Stunde, die Anzahl von Gasblasen, welche sie in einer Minute liefern. Es ergiebt sich dabei, dass die Sauerstoffabscheidung allmählich schwächer und schwächer wird; endlich (bei meinen Experimenten nach 6 Stunden) hört die Sauerstoffentwickelung völlig auf,

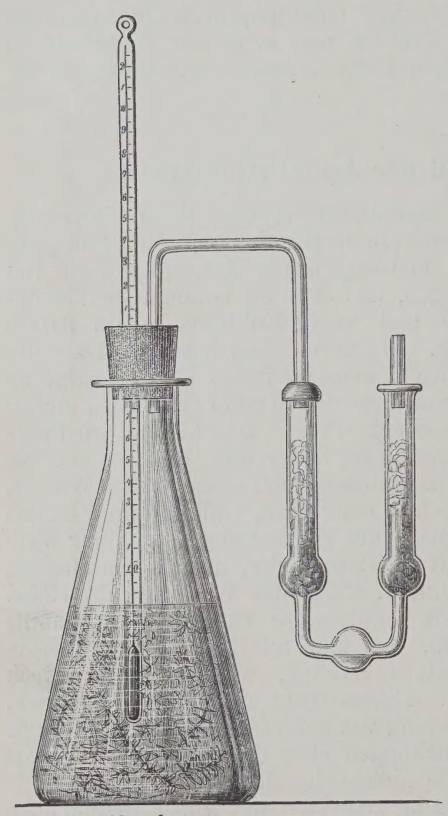


Fig. 13. Apparat zur Feststellung der Thatsache, dass grüne Pflanzen nur dann Sauerstoff produciren können, wenn ihnen Kohlensäure zur Verfügung steht.

weil die Kohlensäure des Wassers verbraucht ist. Oeffnen wir den Apparat jetzt und leiten etwas Kohlensäure in das Wasser ein, so beginnt die Sauerstoffabscheidung der Pflanzen am Licht aufs Neue[1]).

13. Volumetrische Verhältnisse des Gaswechsels bei der Assimilation.

Wir stellen unsere Untersuchungen nach einer Methode an, die von Pfeffer[2]) genau beschrieben worden ist, und die auch Holle[3]) benutzte. Der Apparat ist in Fig. 14 abgebildet. Den wesentlichsten Theil desselben macht ein an seinem oberen Ende bauchig erweitertes Glasrohr aus, dessen Gesammthöhe etwa 360 Mm. beträgt, von welchen etwa 260 Mm. auf das calibrirte Rohr *c* (im Folgenden Steigrohr genannt) fallen. Dieses ist am oberen Ende in einer Länge von 70—75 Mm. zu einem Bauche *b* aufgeblasen und endet mit dem kleinen offenen Rohr *a*. Der Volumengehalt des gesammten Apparates beträgt etwa 115—120 Ccm., von denen etwa 75 dem Bauche zukommen. Der Nullpunkt für die Graduirung wird von der durch die freie Aussenöffnung des Röhrchens *a* gelegten Ebene gebildet; die Theilstriche sind aber erst auf das Steigrohr aufgetragen, dessen Durchmesser, wie noch bemerkt werden mag, 14—15 Mm. beträgt.

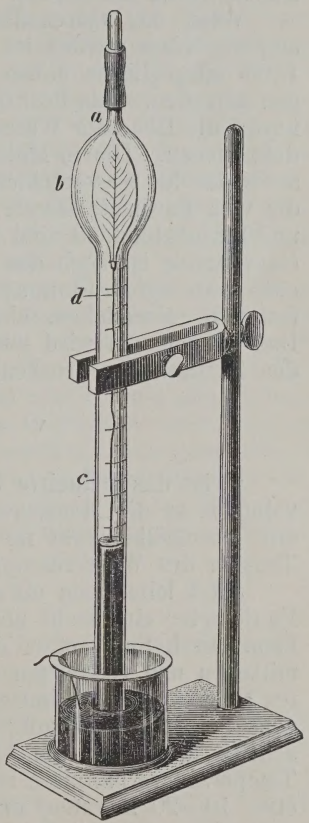


Fig. 14. Apparat zur Bestimmung der Kohlensäuremenge, welche assimilirende Pflanzen zersetzen.

Bei der Ausführung der Versuche über die Volumenverhältnisse beim Gaswechsel assimilirender Blätter wird der Blattstiel der Untersuchungsobjecte nöthigenfalls bis auf ein kurzes Stück weggeschnitten, und an dieses kurze Stück ein ganz dünner Eisendraht (*d*) vermittelst Durchstechens und mehrmaligen Umwickelns befestigt. Das an dem Draht befestigte Blatt wird in dem Steigrohre emporgeschoben, eine Operation, die gut gelingt, wenn man die Blattränder sanft nach rückwärts umbiegt, das Untersuchungsobject in das Steigrohr einführt und unter Beihülfe eines Holzstabes nach aufwärts befördert.

Der Apparat wird nun derartig aufgestellt, dass das untere Ende des Steigrohres in ein Quecksilber enthaltendes Glasgefäss eintaucht, und man bringt sofort 0,3 Ccm. Wasser mit Hülfe einer an ihrem unteren Ende umgebogenen und zu einer feinen Spitze ausgezogenen Pi-

1) Vgl. Frank Schwarz in Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, B. I, S. 97.
2) Vgl. Pfeffer, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, B. I, H. 1.
3) Vgl. Holle, Flora 1877.

pette über das Quecksilber in das Steigrohr. Ueber das bisher noch immer offene Rohr *a* ist ein Kautschukschlauch gezogen. Derselbe wird in Verbindung mit einer Wasser enthaltenden Saugflasche gesetzt, und indem man aus dieser durch Saugen etwas Luft entfernt, muss das Quecksilber im Steigrohre unseres Apparats emporsteigen. Der über das Röhrchen *a* gezogene Kautschukschlauch wird mittelst eines Quetschhahnes zur rechten Zeit abgeschlossen. Man führt dann in den Kautschukschlauch ein Stück Glasstab ein, das man nach Entfernung des Quetschhahnes bis auf die Ränder des Röhrchens *a* herunterdrückt, denen sich der Glasstab mit seiner abgeschliffenen und eingefetteten Fläche völlig anschliesst.

Wenn das Quecksilber im Steigrohre auf die angegebene Weise emporgehoben worden ist und sich nach einiger Zeit die Gastemperaturen ausgeglichen haben, so kann man zu den erforderlichen Ablesungen schreiten. Man liest das Gasvolumen am unteren Wassermeniscus ab, ferner die Höhe der Wasserschicht und den Stand des Quecksilbers über dem Niveau. Die in Millimetern angegebene Höhe der Quecksilbersäule sowie der der Wasserschicht entsprechende Quecksilberdruck repräsentiren die vom Barometerstande zu subtrahirenden Druckhöhen. Temperatur und Barometerstand sind natürlich genau zu notiren. Vom abgelesenen Gasvolumen ist noch das Volumen des Drahtes sowie des Blattes, welches man durch Eintauchen der Objecte in Wasser in bekannter Weise feststellt, abzuziehen, ebenso noch 0,3 Ccm. für den Wassermeniscus. Das Gasvolumen wird jetzt auf 0° C., 1000 Mm. Quecksilberdruck und den Zustand der Trockenheit reducirt[1]).

$$v^1 = \frac{(v - m)\ (b - b^1 - b^2)}{(1 + 0,\ 00366\ t^0)}$$

v^1 ist das reducirte Gasvolumen; v bezeichnet das abgelesene Gasvolumen, m die Meniscuscorrection, b den Barometerstand, b^1 die für die Quecksilbersäule im Steigrohr abzuziehende Druckhöhe, b^2 die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur t^0.

Jetzt leitet man etwas (etwa 8 Ccm.) gereinigte Kohlensäure in das Eudiometer ein, stellt abermals das Gasvolumen im Apparat fest und kann durch Subtraction des früher gefundenen von dem nunmehr ermittelten und reducirten Gasvolumen leicht das Volumen der zugeführten Kohlensäure bestimmen. Beim Einleiten von Kohlensäure, überhaupt auch bei der Ausführung der vorhergehenden Operationen, ist darauf zu achten, dass man die Apparate möglichst wenig berührt, damit die Temperaturverhältnisse sich vor den Ablesungen möglichst schnell (in etwa 10—20 Minuten) ausgleichen können.

Alle analytischen Arbeiten müssen bei Ausschluss directen Sonnenlichtes vorgenommen werden. Ist die Kohlensäure in das Eudiometer eingeleitet, so kann man die Apparate aber, um recht energische Assimilation hervorzurufen, einige Stunden lang den directen Sonnenstrahlen exponiren. Gleich nach der Exposition wird das Blatt aus dem Eudiometer entfernt, nach etwa 2 Stunden, wenn dasselbe sich völlig abgekühlt hat, liest man das Gasvolumen ab, führt mit Hülfe einer kleinen Pipette, die man am oberen Ende verschliesst und mit der Hand erwärmt, Kalilauge in das Steigrohr ein und ermittelt das Gas-

1) Vgl. Bunsen, Gasometrische Methoden, 1857.

volumen abermals, wenn die nicht durch den Assimilationsprocess zersetzte Kohlensäure absorbirt ist.

Die Experimente über den Gaswechsel bei der Assimilation stellt man zweckmässig mit Blättern von Prunus laurocerasus oder Nerium an. Vor der Einführung in das Eudiometer müssen die Blätter dem Licht ausgesetzt gewesen sein, damit sie keine absorbirte Kohlensäure in ihrem Gewebe enthalten. Die Blätter bleiben im Eudiometer 3—6 Stunden dem Licht exponirt, eine Zeit, in der zumal im directen Sonnenlicht erhebliche Mengen der zugeführten Kohlensäure zersetzt werden können. Mit Bezug auf die Menge der in das Eudiometer einzuleitenden Kohlensäure sei bemerkt, dass 6—8 Ccm. genügen. In vielen Fällen, wenn nämlich die Intensität des Sonnenlichts, dem die Blätter ausgesetzt werden, sehr bedeutend ist, empfiehlt es sich, über dem Eudiometer eine doppeltwandige, mit Wasser angefüllte Glocke (vgl. Fig. 7) aufzuhängen, damit die Erwärmung des Blattes und der Gasmenge im Apparat keine zu erhebliche werde. Man kann das Eudiometer übrigens ja auch bei zu intensivem Licht etwas beschatten, wobei Papierschirme gute Dienste leisten. Will man den Einfluss farbigen Lichtes auf die Energie der Kohlensäurezersetzung studiren, so hängt man doppeltwandige Glasglocken, die mit farbigen Lösungen angefüllt sind, über den Eudiometern auf (vgl. Pfeffer's citirte Abhandlung).

Hier interessirt uns aber wesentlich nur das Verhalten der Blätter im gemischten weissen Licht. Unter dem Einfluss desselben werden in kurzer Zeit ansehnliche Kohlensäurequantitäten zersetzt, und man wird sich, wenn man die angegebene Methode bei der Ausführung der Untersuchungen sorgfältig handhabt, davon überzeugen, dass das zurückbleibende Gasvolumen im Eudiometer nach der Exposition der Blätter im Sonnenlicht ebenso gross ist, wie vor der Exposition. Von ganz kleinen Differenzen, welche in das Bereich der Beobachtungsfehler fallen, ist natürlich abzusehen. Bei der Assimilation wird also eine Sauerstoffmenge erzeugt, die dem Volumen nach gleich ist der Quantität der zersetzten Kohlensäure.

14. Der makro- und mikrochemische Nachweis von Stärke in den Assimilationsorganen.

In sehr zahlreichen grünen Pflanzentheilen wird als erstes leicht sichtbares Assimilationsproduct Amylum erzeugt. Es gehört daher zu den gewöhnlichsten Aufgaben des Pflanzenphysiologen, diese Stärke in den Assimilationsorganen nachweisen zu müssen, und dies kann sowohl auf makro- sowie auf mikrochemischem Wege geschehen. Wir fassen zunächst den ersteren Weg ins Auge.

Die einfachste, zuerst von Sachs[1]) zu ausgedehnten Experimenten angewandte Untersuchungsmethode besteht darin, dass man die auf Stärkegehalt zu prüfenden Objecte (sehr zweckmässig ist es, mit den Blättern von Tropaeolum, Helianthus, Solanum oder Phaseolus zu arbeiten) einige Minuten in kochendes Wasser legt, um sie dann in recht starken, auf 60° C. erwärmten Alkohol zu bringen. Wenn man grössere Alkoholmengen benutzt, so nimmt derselbe den Chlorophyllfarbstoff der Blätter meist sehr schnell vollständig auf, und die extrahirten Untersuchungs-

1) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 3, S. 1.

objecte sind nach wenigen Minuten farblos. Jetzt gelangen die Blätter in eine Jodlösung. Man bereitet diese, indem man eine grössere Menge Jod in starkem Alkohol auflöst und dann so viel destillirtes Wasser zusetzt, bis die Flüssigkeit etwa die Farbe eines dunkeln Bieres besitzt. Die Blätter bleiben eine halbe, eine oder mehrere Stunden in der Jodlösung liegen, bis sie keine weitere Farbenänderung erfahren; man hebt sie mit der Pincette aus der Lösung und legt sie in eine mit Wasser gefüllte weisse Porzellanschale. Bei völliger Abwesenheit der Stärke erscheinen die mit Jod gesättigten Blätter von hellgelber oder ledergelber Farbe. Kleine Stärkemengen verrathen sich durch schwärzliche Farbe der Blätter, grössere durch tiefer schwarze Farbe derselben. Wenn man die stärkereichen, mit Jod gesättigten Untersuchungsobjecte mehrere Stunden lang auf einem Teller in Wasser liegen lässt, so nehmen sie oft eine blaue Farbe an. Bei Experimenten, die ich mit Tropaeolumblättern anstellte, trat dieser Farbenton besonders schön hervor.

Wenn es sich darum handelt, auf mikrochemischem Wege die Frage zu entscheiden, ob in den Assimilationsorganen Stärke vorhanden ist oder fehlt, so werden die Untersuchungsobjecte (z. B. Algenfäden oder zarte Querschnitte aus Blättern etc.) zunächst zur Extraction des Chlorophyllpigmentes in starken, erwärmten Alkohol gelegt. Die gebleichten Präparate werden dann entweder kurze Zeit mit heisser, oder 20 Stunden lang mit kalter, mässig concentrirter Kalilauge in Berührung gebracht, sorgfältig mit Wasser ausgewaschen, zur völligen Neutralisation des Kalis mit verdünnter Essigsäure behandelt, abermals mit Wasser ausgewaschen und in einen Tropfen Jodjodkaliumlösung (bereitet durch Auflösen von 0,05 Gr. Jod und 0,2 Gr. Jodkalium in 15 Gr. Wasser) gebracht[1]). Sehr bequem zu handhaben ist die folgende Methode des Nachweises von Stärke in grünen Zellen[2]). Die Untersuchungsobjecte (mit besonderem Erfolg benutzte ich die gar nicht weiter präparirten Blätter von Elodea canadensis und Funaria hygrometrica) werden ohne weiteres, oder, was oft erforderlich ist, nach der Extraction mit Alkohol auf dem Objectträger in einen Tropfen der Lösung des Chloralhydrats (5 Thl. Chloralhydrat auf 2 Thl. Wasser) gelegt, etwas Jodjodkaliumlösung hinzugesetzt und sofort beobachtet. Der Chlorophyllfarbstoff wird gelöst, die Stärkekörner quellen etwas auf und sie nehmen in Berührung mit der Jodjodkaliumlösung eine schön blaue Färbung an, ebenso wie dies geschieht, wenn die mit Kali und verdünnter Essigsäure behandelten stärkehaltigen Untersuchungsobjecte mit dem Jodreagens in Contact gelangen.

Wollen wir uns davon überzeugen, dass das durch Assimilation gebildete Amylum nicht etwa an beliebigen Orten einer Zelle, sondern in den Chlorophyllkörpern vorhanden ist, so wählen wir zweckmässig Spirogyra, Zygnema oder Blätter von Funaria hygrometrica als Beobachtungsobjecte. Wir bedienen uns bei der Ausführung der Untersuchung der zuletzt angeführten Methode unter Zuhülfenahme von Chloralhydrat.

15. Die Assimilationsproducte.

Es unterliegt gar keinem Zweifel, dass die Stärke in den Blättern zahlreicher Pflanzen als erstes leicht sichtbares Assimilationsproduct auftritt. Dagegen existiren andere Gewächse, welche selbst unter sehr

1) Vgl. Böhm, Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss. zu Wien, B. 22, S. 479, und Sachs, Botan. Zeitung, 1864, S. 291.

2) Vgl. A. Meyer, Das Chlorophyllkorn, 1883, S. 28.

günstigen Assimilationsbedingungen nur relativ geringe, respect. sehr kleine Stärkemengen oder endlich gar keine Stärke erzeugen. Am Nachmittag eines heissen Sommertages schneiden wir z. B. in derselben Stunde Blätter von Tropaeolum majus, Phaseolus multiflorus, Helianthus annuus, einer Polygonumart, einer Gentianaspecies, von Tamus communis und von Allium Cepa ab. Es ist am besten, wenn sich die Pflanzen, denen wir die Blätter entnehmen, unter möglichst ähnlichen Bedingungen entwickelt haben, wie solche z. B. im System der botanischen Gärten gegeben sind. Zu bemerken ist noch, dass wir stets mit völlig ausgewachsenen Blättern operiren müssen. Die Untersuchungsobjecte werden in der Art, wie es unter 14 angegeben worden ist, makroskopisch oder mikroskopisch auf ihren Stärkegehalt geprüft, und wir constatiren, dass die Blätter von Tropaeolum, Phaseolus und Tamus reichliche Amylummengen in ihren grünen Zellen enthalten, während die Helianthusblätter schon weniger Stärke führen. Noch geringer ist der Stärkegehalt der Polygonumblätter, sehr gering derjenige der Gentianablätter, und die Alliumblätter erweisen sich als völlig stärkefrei.

Zur weiteren Orientirung über die hier in Rede stehenden Verhältnisse stellen wir das folgende lehrreiche Experiment an. Eine erhebliche Quantität der Blätter von Helianthus tuberosus, die wir am Nachmittag eines heissen Sommertages gesammelt haben, wird zwischen grober Leinwand mittelst einer Handpresse ausgepresst. Wir bestimmen das Volumen des gewonnenen, dunkel gefärbten Saftes, kochen ihn auf, ersetzen das verdunstete Wasser wieder, wenn die Flüssigkeit erkaltet ist, und filtriren sie. In genau der nämlichen Weise stellen wir uns Saft aus den Blättern von Allium Cepa dar, die zur selben Zeit wie die Helianthusblätter eingesammelt worden sind. Wir ermitteln nun durch Titriren diejenigen Saftmengen, welche zur Reduction von 10 Ccm. Fehling-scher Lösung erforderlich sind, und finden, dass eine bedeutende Quantität des Helianthussaftes, dagegen eine sehr geringe des Alliumsaftes zur Reduction der Fehling'schen Flüssigkeit verbraucht wird. Blätter, die reichlichere Stärkemengen erzeugen, enthalten also wenig Glykose; Blätter, welche keine Stärke bilden, sind sehr glykosereich. Die Glykose in den Blättern von Allium und anderen Gewächsen ist, wie Sachs[1]) es schon vor langer Zeit aussprach, und wie es Arthur Meyer[2]) specieller feststellte, in der That als Assimilationsproduct zu betrachten.

Wir dürfen nun heute von der Anschauung ausgehen, dass auch in den grünen Zellen solcher Blätter, die sich als sehr stärkereich erweisen, in Folge des Assimilationsprocesses aus der Kohlensäure und dem Wasser nicht direct Stärke, sondern zunächst Glykose erzeugt wird. (Vgl. mein Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 38 und 198.) Diese Glykosemenge kann in den amylumreich erscheinenden Blättern in Folge specifischer Eigenschaften ihrer Chlorophyllkörper sehr leicht in Amylum übergeführt werden, während die Stärkebildung aus der durch Assimilation erzeugten Glykose in den Zellen der Blätter anderer Pflanzen mit mehr oder minder grossen Schwierigkeiten verbunden ist. In dem hier in Rede stehenden Zusammenhange ist natürlich die Thatsache von grossem Gewicht, dass es gelungen ist, Blätter zur Stärkebildung auf Kosten der Glykose, die man ihnen von aussen

1) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 326.
2) Art. Meyer: Botan. Zeitung, 1885, Nr. 27.

zugeführt hat, zu veranlassen[1]). Ich habe solche Versuche nicht speciell angestellt, mich aber davon überzeugt, dass Blätter aus ihnen von aussen dargebotenem Rohrzucker ebenfalls Amylum zu bilden vermögen. Frische Blattstücke von Iris germanica, die etwa 10 Cm. Länge besassen, wurden, ohne die Wachsschicht zu beseitigen, auf 20-procentige Rohrzuckerlösung gelegt, die sich in einem flachen Glasgefäss befand. Die Blattstücke schwammen auf der Flüssigkeit, und ihre eine Fläche kam gar nicht mit derselben in Contact. Das flache Gefäss wurde mit einer Glasplatte bedeckt, aber zwischen diese und den Rand des ersteren ein Korkstück gelegt, um den Zutritt der Luft zu den Pflanzentheilen nicht zu behindern. Die Untersuchungsobjecte blieben länger als eine Woche bei mittlerer Temperatur und im Dunkeln mit der Rohrzuckerlösung in Berührung. Bei Beginn des Versuchs prüfte ich einige Blattstücke makroskopisch auf Stärke; diese war nicht vorhanden. Die Blattstücke aber, welche 8 Tage lang auf der Zuckerlösung verweilt hatten, gaben deutliche Stärkereaction. Zu bemerken ist, dass die Irisblattstücke, bevor man sie bei Ausführung der Stärkereaction in die Jodlösung legt, ziemlich lange mit warmem Alkohol behandelt werden müssen, wenn man sie völlig vom Chlorophyllfarbstoff befreien will.

16. Die Abhängigkeit der Stärkebildung bei der Assimilation von äusseren Verhältnissen.

Man lege einige Samen von Phaseolus in lockere Gartenerde, die sich in Blumentöpfen befindet, aus, cultivire die Pflanzen so lange im Dunkeln, bis die Cotyledonen eines sehr beträchtlichen Theiles ihres Reservestoffvorrathes beraubt sind, und untersuche die Primordialblätter nunmehr auf makrochemischem Wege nach Sachs oder auf mikrochemischem Wege, indem man dünne Querschnitte mit Chloralhydrat- und Jodjodkaliumlösung behandelt (vgl. unter 14), auf Stärke. Amylum wird man nicht in den Mesophyllzellen antreffen. Lässt man die Pflanzen jetzt einige Tage lang bei Lichtzutritt stehen, so ergrünen sie, ihr Wachsthum beginnt aufs Neue, und in den Zellen der Blätter ist auf makro- oder mikrochemischem Wege nach der angegebenen Zeit Amylum nachzuweisen.

Werden die ausgewachsenen Blätter kräftiger, in Blumentöpfen bei Lichtzutritt cultivirter Exemplare von Tropaeolum oder Phaseolus makrochemisch oder mikrochemisch auf Stärke untersucht, so ist diese Substanz leicht in ihren Zellen nachzuweisen. Werden die Untersuchungsobjecte nun bei hoher Sommertemperatur kurze Zeit lang (vielleicht 48 Stunden), bei niederer Temperatur längere Zeit ins Finstere gestellt, so ist die Stärke aus dem Mesophyll ihrer Blätter verschwunden. Werden die Pflanzen wieder einige Tage lang dem Einfluss des Lichts ausgesetzt, so kann man sich leicht davon überzeugen, dass ihre Blätter abermals stärkereich sind. Es ist zweckmässig, bei vergleichenden Untersuchungen über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Entstehung und das Verschwinden des Amylums in den Zellen des Blattgewebes nach Ablauf der einzelnen Versuchsperioden nicht ganze Blätter von den Pflanzen abzuschneiden, sondern stets nur Stücke der

1) Vgl. Böhm: Botan. Zeitung, 1863; A. Meyer, Botan. Zeitung, 1885, Nr. 27, und besonders Botan. Zeitung, 1886, Nr. 5.

Blätter zu entfernen. Man ist dadurch in den Stand gesetzt, während der ganzen Versuchsdauer mit ein und demselben Blatt experimentiren zu können.

Untersucht man die Blätter der Knospen kräftiger und unter normalen Verhältnissen vegetirender Pflanzen von Elodea canadensis auf Stärke, so findet man reichliche Mengen dieses Stoffes in den Zellen. Werden die Untersuchungsobjecte ins Dunkle gebracht, so verschwindet die Stärke völlig. (Nach meinen Erfahrungen bei hoher Sommertemperatur oft schon in 24 Stunden, freilich bei nicht so hoher Temperatur viel langsamer.) Erneute Beleuchtung bedingt bald wieder die Ansammlung grosser Amylumquantitäten im Blattgewebe. Ich habe es zweckmässig gefunden, die Elodeablätter vor der Behandlung mit Chloralhydrat und Jodjodkaliumlösung zunächst zur Entfernung des Chlorophyllfarbstoffes mit kochendem Wasser und heissem Alkohol zu extrahiren.

Spirogyrafäden sind bei höherer Sommertemperatur nach 1—3-tägigem Verweilen im Finstern stärkefrei, wie die Prüfung auf Amylum mit Chloralhydrat- und Jodjodkaliumlösung lehrt. Setzt man die entstärkten Spirogyrafäden dem directen Sonnenlicht aus, so enthalten sie in Folge der hohen Temperatur sowie der bedeutenden Lichtintensität sehr bald, z. B. schon nach einer halben Stunde, reichliche Amylummengen. Im diffusen Licht geht die Stärkebildung weit langsamer vor sich.

Will man den Einfluss des Lichtes von verschiedener Brechbarkeit auf die Stärkebildung im Chlorophyll untersuchen, so benutzt man als Beobachtungsobject bequem Spirogyrafäden oder Elodeapflanzen, die zur Entstärkung einige Tage im Dunkeln verweilt haben. Die amylumfreien Pflanzen werden in kleinen Schälchen, welche Brunnenwasser enthalten, unter doppeltwandigen Glocken oder in geeigneten Kästen (vgl. unter 8) dem Licht ausgesetzt, das die Lösung des doppelt-chromsauren Kalis und des Kupferoxydammoniaks passirt hat. Man setzt die Apparate dem directen Sonnenlicht oder dem diffusen Licht aus. Von Zeit zu Zeit, etwa alle 10 Minuten, wenn man bei directem Sonnenlicht, etwa alle 30 Minuten, wenn man bei diffusem Tageslicht experimentirt, untersucht man Spirogyrafäden oder Blätter aus den Knospen der Elodea auf Stärkegehalt. Es wird sich ergeben, dass, ebenso wie die Sauerstoffabscheidung im gemischten gelben Licht weit lebhafter als im gemischten blauen Licht erfolgt, auch die Stärkebildung durch die Strahlen von geringerer Brechbarkeit in viel ausgiebigerem Maasse als durch die Strahlen von grösserer Brechbarkeit herbeigeführt wird. Im directen Sonnenlicht geht die Stärkebildung im Chlorophyll übrigens selbst unter dem Einfluss des gemischten blauen Lichts ziemlich schnell vor sich, und ich fand z. B., dass anfangs stärkefreie Spirogyrafäden, die 35 Min. lang bei hoher Temperatur dem Sonnenlicht ausgesetzt gewesen waren, das die Lösung des Kupferoxydammoniaks passirt hatte, nach dieser Zeit reichliche Stärkeeinschlüsse enthielten.

Lehrreich ist es ferner, panachirte Blätter, die kräftig assimilirt haben, nach der makrochemischen Methode von Sachs auf Amylum zu untersuchen. Man benutzt z. B. zu solchen Versuchen die Blätter von Acer negundo oder von Sancheziaarten (letztere müssen ziemlich lange in der Jodlösung liegen). Es ergiebt sich, dass nur die grünen Blatttheile, nicht die chlorophyllfreien, Stärke enthalten.

Das folgende Experiment, welches ich mit in Töpfen cultivirten Exemplaren von Tropaeolum majus ausführte, ist deshalb besonders interessant, weil es lehrt, dass die Stärkebildung im Mesophyll der

Blätter insofern eine streng localisirte ist, als allein diejenigen Blatttheile assimilatorische Thätigkeit geltend machen, welche direct von den Sonnenstrahlen getroffen werden, während z. B. in künstlich verdunkelten Theilen desselben Organs keine Stärke entsteht. Tropaeolumexemplare werden 2 Tage oder längere Zeit verdunkelt, bis die makroskopische Prüfung zeigt, dass das Blattmesophyll stärkefrei geworden ist. Jetzt befestigt man an der Ober- und Unterseite völlig ausgewachsener Blätter, genau einander gegenüber, kleine Scheiben von dicker Pappe oder Filz mit Hülfe von Nadeln, so dass nicht die gesammte Blattfläche der nunmehr wieder ans Licht gelangenden Untersuchungsobjecte von Lichtstrahlen getroffen werden kann. Nach einiger Zeit (bei meinen Experimenten nach $1^1/_2$ Tagen) prüft man die stellenweis verdunkelt gewesenen Blätter makroskopisch auf Stärkegehalt. Das Mesophyll der künstlich verdunkelten Blattregionen ist amylumfrei; nur die Nerven führen Stärke. Die Blattstellen hingegen, welche von den Lichtstrahlen getroffen worden waren, erweisen sich als sehr amylumreich.

Sehr wichtig ist es ferner, sich davon zu überzeugen, dass die Pflanzen nicht im Stande sind, Stärke bei Lichtzutritt in einer kohlensäurefreien Atmosphäre zu bilden, ja, dass die eventuell schon vorhandene Stärke unter diesen Umständen aus den Chlorophyllkörpern verschwindet. Wir legen einige Samen von Raphanus sativus oder von anderen Pflanzen in ausgeglühten Sand, der mit gewöhnlicher, aber mit Wasser verdünnter Nährstofflösung, wie man sie zu Wassercultur-versuchen benutzt, gesättigt ist, und sich in kleinen Blumentöpfen befindet. Ist die Keimung bei Lichtzutritt so weit fortgeschritten, dass die Cotyledonen ausgewachsen sind, dann gelangen die Untersuchungsobjecte, in deren Keimblättern man reichliche Stärkemengen leicht nachweisen kann, in den in Fig. 15 dargestellten Apparat. Die Glasschale G' enthält Quecksilber, über das wir eine dünne Wasserschicht bringen. An Stelle des Quecksilbers kann man auch Wasser verwenden. In der Glasschale G'' befindet sich starke Kalilauge und ein Glasklotz, auf dem der Topf mit den Pflanzen steht. Die Glasglocke *Ggl* wird über die Keimlinge gedeckt; ihr unterer Rand taucht in das Quecksilber oder das Wasser ein, während durch die Bohrung des den Tubulus der Glocke verschliessenden Korkes ein gebogenes Glasrohr geschoben worden ist, das mit dem U-förmigen Rohre

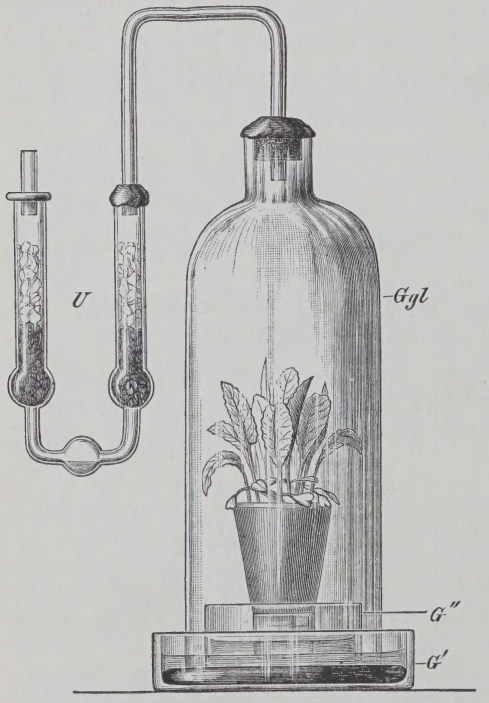


Fig. 15. Apparat zur Cultur von Pflanzen bei Ausschluss der Kohlensäure.

U, welches mit Kalilauge getränkte Bimssteinstücke sowie Kalihydratstückchen enthält, in Verbindung steht. Setzen wir den Apparat etwa 2 Tage lang dem Einfluss des Lichtes aus (es ist vortheilhaft, wenn er während dieser Zeit, wenigstens periodisch, von directen Sonnenstrahlen getroffen wird), so sind die Cotyledonen stärkefrei geworden. Stellen wir den Topf mit den Pflanzen jetzt wieder frei ans Fenster, dann sammeln sich alsbald aufs Neue erhebliche Stärkequantitäten in den grünen Zellen der Keimblätter an[1]).

Versuche, welche lehren sollen, dass die Temperaturverhältnisse von Einfluss auf die Stärkebildung im Chlorophyll sind, stellt man zweckmässig im Herbst oder Winter an. In zwei Zimmern, die nach gleicher Himmelsrichtung gelegen sind, werden Gläser, die mit Brunnenwasser und im Dunkeln entstärkten Elodeapflanzen beschickt worden sind, aufgestellt. In dem einen Zimmer herrscht eine Temperatur von etwa 6 ° C., in dem anderen eine solche von etwa 20 ° C. Die Temperatur des Wassers des einen Gefässes wird constant auf 6 ° C., diejenige des Wassers des anderen constant auf 20 ° C. (nöthigenfalls durch Einbringen von Eisstückchen oder Zugiessen wärmeren Wassers) erhalten. Von Zeit zu Zeit (vielleicht alle 30 Minuten) untersucht man Elodeablätter auf Stärkegehalt und findet, dass, trotzdem die Pflanzen den gleichen Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt sind, unter dem Einfluss der höheren Temperatur schneller grössere Amylummengen gebildet werden als bei niederer Temperatur[2]).

II. Die Entstehung der Eiweissstoffe in den Pflanzen.

17. Das Wesen des Processes der Bildung stickstoffhaltiger organischer Stoffe in den Pflanzen.

Es ist sehr wichtig, den Beweis dafür zu liefern, dass die Pflanzenzellen die Fähigkeit besitzen, aus stickstofffreien organischen Stoffen (z. B. Zucker) und stickstoffhaltigem anorganischem Material stickstoffhaltigem organische Körper, z. B. Eiweissstoffe, zu produciren. Gleichzeitig werden die Experimente, welche im Folgenden Erwähnung finden sollen, unzweideutig lehren, dass die Processe, die sich bei der Erzeugung stickstoffhaltiger organischer Stoffe in den Pflanzenzellen abspielen, gar keine Verwandtschaft mit dem Assimilationsvorgange besitzen, denn sie können sich auch in chlorophyllfreien Zellen und bei völligem Lichtabschluss vollziehen. Als Untersuchungsobject benutzen wir die Hefe (Sacharomyces cerevisiae)[3]).

Wir stellen 3 Kochflaschen (*a*, *b*, *c*), von etwa 200 Ccm. Capacität auf. In *a* bringen wir 100 Ccm. destillirtes Wasser, in *b* 100 Ccm. Pasteur'sche Nährlösung (dieselbe besteht in 1000 Gewthl. aus 838

1) Vgl. Godlewski, Flora, 1873, S. 382.

2) Literatur über Stärkebildung: Sachs, Botanische Zeitung, 1862, Nr. 44; ebenpaselbst 1864, Nr. 38; Arbeiten d. botanischen Instituts in Würzburg, B. 3, H. 1; G. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher, B. 7, S. 511. Nagamatsz, Beiträge zur Kenntniss d. Chlorphyllfunction, Dissertation, Würzburg, 1886.

3) Vgl. A. Mayer, Untersuchungen über die alkoholische Gährung, 1868, und Lehrbuch der Gährungschemie, 1874, S. 108.

Thl. Wasser, 150 Thl. Trauben- oder Candiszucker (bei meinen Versuchen benutzte ich meist den letzteren, da er leichter im reinen Zustande als der Traubenzucker zu erhalten ist), 10 Thl. weinsaurem Ammoniak, 0,2 Thl. schwefelsaurer Magnesia, 0,2 Thl. phosphorsaurem Kalk und 2 Thl. saurem phosphorsaurem Kali); in *c* 100 Ccm. einer Flüssigkeit, die ebenso zusammengesetzt ist, wie die PASTEUR'sche Lösung, nur kein weinsaures Ammoniak enthält. Wir kochen die 3 Flüssigkeiten einige Zeit lang in den Kochflaschen, um sie möglichst zu sterilisiren, nachdem wir die Mündungen der Gefässe mit Wattepfropfen verschlossen haben, und bringen, indem wir die Pfropfen nach dem Erkalten der Nährlösungen einen Augenblick entfernen, eine kleine Hefemenge in die Flüssigkeiten. Als Hefematerial benutzen wir Presshefe. Untersuchen wir dieselbe mikroskopisch, so zeigt sich, dass in derselben neben den kleinen, sich mit Jod gelblich färbenden Hefezellen Stärkekörner und sonstige Verunreinigungen vorhanden sind. Um möglichst reines Material zu erhalten, waschen wir die Presshefe zunächst zur Entfernung löslicher Beimengungen mit destillirtem Wasser auf einem Filter gründlich aus und suchen sie dann durch Schlämmen noch weiter zu reinigen. Von der resultirenden, milchigen, nur relativ wenige Hefezellen enthaltenden Flüssigkeit werden jeder der 3 Versuchsflüssigkeiten gleiche Quantitäten (1 oder 2 Ccm.) hinzugefügt. Die mit Watte verstopften Gefässe werden einer Temperatur von etwa 25° C. ausgesetzt und nun im Dunkeln oder bei Lichtzutritt unter häufigerem Umschütteln sich selbst überlassen. Die Flüssigkeit im Glase *b* trübt sich alsbald bedeutend und es entstehen sehr zahlreiche neue Hefezellen, die sich massenhaft zu Boden setzen. Die Flüssigkeiten in *a* und *c* trüben sich kaum oder sehr wenig. Da die Presshefe sehr schwer von allen fremden Bestandtheilen zu befreien ist, so kann wohl in *a* und *c* sehr schwache Hefevermehrung erfolgen, aber auf jeden Fall beweist die massenhafte Hefevermehrung in *b*, die auch durch Wägen der abfiltrirten und getrockneten Hefe genauer bestimmt werden kann, dass hier allein die normalen Lebensbedingungen des Pilzes erfüllt sind. Die Neubildung der Zellen muss mit einer Erzeugung stickstoffhaltiger organischer Körper verbunden gewesen sein, denn das Protoplasma der Zellen ist ja reich an diesen, und als Material können nur stickstofffreie organische Körper und Ammoniak Verwendung gefunden haben.

Während die höheren Gewächse die Salpetersäure vortrefflich für die Zwecke der Eiweissbildung zu verwerthen vermögen, ist die Hefezelle dazu nicht im Stande. Wenn wir PASTEUR'sche Nährlösung herstellen, das weinsaure Ammoniak aber durch salpetersaures Kali ersetzen und Hefezellen in die Flüssigkeit bringen, so verhält sich der Pilz in dieser Nährlösung ähnlich wie in einer solchen, der wir überhaupt keinen stickstoffhaltigen Körper zugesetzt haben. Dagegen kann man sich durch Versuche, bei deren Ausführung man das weinsaure Ammoniak der PASTEUR'schen Lösung durch Pepton ersetzt, davon überzeugen, dass dieser letztere Körper eine geeignetere Stickstoffquelle für den Hefepilz als das Ammoniak darstellt.

Dass nicht nur die Hefe, sondern auch andere chlorophyllfreie Organismen die Fähigkeit haben, aus Zucker und Ammoniak Eiweiss zu erzeugen, lässt sich leicht feststellen. Es werden zwei kleine Gefässe (*a* und *b*) aufgestellt. In *a* bringt man 25 Ccm. PASTEUR'sche Lösung, in *b* 25 Ccm. einer Flüssigkeit, die ebenso wie diese Lösung zusammengesetzt ist, der aber das weinsaure Ammoniak fehlt. Beide Gefässe stellt

man nun unter eine Glasglocke und überlässt sie etwa 8 Tage lang sich selbst. Die Flüssigkeit in *a* trübt sich alsbald in Folge massenhafter Bakterienentwickelung bedeutend. Auch andere Organismen (bei meinen Versuchen z. B. der roth gefärbte Sacharomyces glutinis) können auftreten. Die Flüssigkeit in *b* trübt sich nur wenig, weil die Stickstoffquelle fehlt. Eine schwache Lebensäusserung der vorhandenen Keime kann erfolgen, weil die Flüssigkeit vielleicht etwas Ammoniak aus der Luft anzieht.

18. Vermag die Pflanze den freien Stickstoff der Atmosphäre zur Bildung von Eiweissstoffen zu verwerthen?

Die Pflanzenzellen vermögen aus stickstofffreiem organischem Material und stickstoffhaltigen anorganischen Verbindungen (Salpetersäure und Ammoniak) Eiweissstoffe zu erzeugen. Eine andere Frage ist es, ob auch der freie atmosphärische Stickstoff zur Eiweissbildung Verwendung finden kann, und diese Frage besitzt nicht allein ein theoretisches, sondern zugleich ein hohes praktisches Interesse, denn wenn sie im bejahenden Sinne beantwortet werden müsste, so brauchte z. B. der Landwirth seinen Feldern keine stickstoffhaltigen Pflanzennahrungsmittel zuzuführen.

Als Untersuchungsobjecte benutzen wir zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage recht zweckmässig Erbsen- oder Weizenpflanzen. Wir verschaffen uns zunächst wohl ausgebildetes und durchaus keimfähiges Samenmaterial und bestimmen den Trockensubstanzgehalt, sowie den Stickstoffgehalt desselben. Einige Weizenkörner (vielleicht 30 Stück) oder einige Erbsensamen (vielleicht 6 Stück), deren Gewicht man genau ermittelt hat, und deren Stickstoffgehalt man daher auf Grund der erwähnten Stickstoffbestimmungen leicht berechnen kann, werden in einem Gläschen mit wenig Wasser übergossen. Dieses Glas bleibt etwa 24 Stunden lang unter der Glasglocke des alsbald zu beschreibenden Apparates ruhig stehen. Nach dieser Zeit giesst man die kleine Menge des noch vorhandenen Quellwassers von den Samen ab, bringt die Flüssigkeit in eine Porzellanschale auf dem Wasserbade zur Trockne und stellt die den Rückstand enthaltende Schale in einen Exicator. Die gequollenen Samen werden nun in dem in Fig. 16 dargestellten Apparat zu weiterer Entwicklung gebracht. Auf einer mattgeschliffenen Glasplatte steht ein Becherglas *B*, welches mit Tüll oder durchlöchertem Pergamentpapier überbunden ist, und eine Nährstofflösung enthält, in der bis auf die Salpetersäure oder das Ammoniak alle Nährstoffe vor-

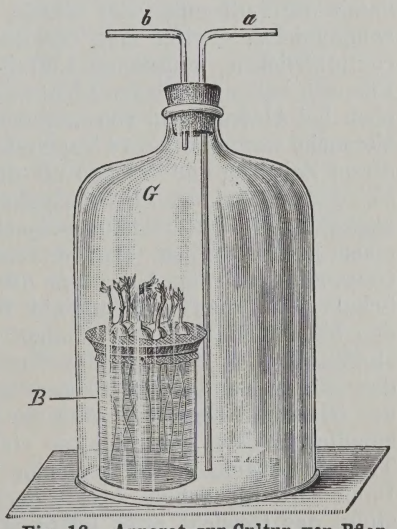


Fig. 16. Apparat zur Cultur von Pflanzen bei Ausschluss aller Stickstoffverbindungen.

handen sind (vgl. unter 20). Auf den Tüll oder das Pergamentpapier, an deren Stelle man auch ein durchlöchertes Silberblech benutzen kann, werden die gequollenen Samen gelegt, so dass die sich entwickelnden Wurzeln in die Nährstofflösung hineinwachsen. Die recht grosse Glasglocke *G* wird mit ihrem abgeschliffenen Rande vollkommen luftdicht auf die erwähnte mattgeschliffene Glasplatte aufgekittet, was am besten mittelst einer von aussen aufgestrichenen Schmiere gelingt, die man durch Zusammenschmelzen von Wachs, Talg und Baumöl hergestellt hat. Man kann die Glocke auch unten durch Quecksilber absperren, welches sich in einer grossen Schale befindet. Ueber das Metall muss aber etwas Wasser geschichtet werden, damit die Quecksilberdämpfe die Keimpflanze nicht schädigen. Oft empfiehlt es sich auch, die angequollenen Samen nicht direct, sondern erst nach dem unter der Glasglocke auf feucht gehaltener Glaswolle erfolgten Ankeimen auf die Bedeckung des erwähnten Becherglases zu legen. Der Tubulus der Glasglocke wird mit einem zweifach durchbohrten Kautschukkork verschlossen. Die eine Bohrung dient zur Aufnahme des rechtwinklig gebogenen Glasrohres *a*, die andere zur Aufnahme des ebenfalls rechtwinklig gebogenen Glasrohres *b*. Durch *a* wird dem Untersuchungsobjecte atmosphärische Luft zugeführt, die aber vor ihrem Eintritt in die Glasglocke *G* von allen Stickstoffverbindungen befreit und wieder einigermaassen mit Wassergas gesättigt worden ist. Zu diesem Zweck muss die Luft vor ihrem Eintritt in *a* nach einander Gefässe passiren, von denen das erste eine Lösung von doppeltkohlensaurem Natron, das zweite Bimsstein, der mit Schwefelsäure getränkt ist, und das dritte Wasser enthält. Das Glasrohr *b* steht mit einem Aspirator in Verbindung, aber man thut gut, zwischen diesem und *b* noch ein kleines Schwefelsäure enthaltendes Gefäss einzuschalten, damit die Luft unter der Glocke gar nicht mit der Atmosphäre direct communicire. Leitet man von Beginn des Quellens der Samen an einen continuirlichen, langsamen Luftstrom durch den Apparat und setzt die Pflanzen hellem, diffusem Licht aus, so entwickeln sie sich so gut, wie dies eben bei Abwesenheit von Salpetersäure und Ammoniak möglich ist. Die Versuche werden etwa 14 Tage oder auch länger fortgeführt und während dieser Zeit Tag und Nacht Luft durch den Apparat geleitet. Es handelt sich dann darum, den Stickstoffgehalt der Weizen- oder Erbsenpflanzen festzustellen. Die Untersuchungsobjecte werden in einer Porzellanschale zu einem Brei zerrieben. Das Gewicht der Schale und ebenso dasjenige eines Glasstabes, der zum Umrühren des Breies dient, muss bestimmt sein. Die Schale stellt man dann auf ein Wasserbad und fügt ihrem Inhalt noch den bis auf ein kleines Volumen eingedunsteten Rückstand der Nährstofflösung, in der sich die Wurzeln der Pflanzen entwickelten, sowie den Rückstand des Quellwassers und denjenigen des ev. zum Auswaschen der Glaswolle benutzten Wassers hinzu. Ist die Masse in der Schale ziemlich trocken geworden, so stellt man sie noch einige Zeit in einen Trockenschrank, in welchem eine Temperatur von etwa 50 ° C. herrscht. Dann wird die Schale, lose bedeckt, 24 Stunden lang an die Luft gestellt, das Gewicht ihres lufttrocknen Inhaltes ermittelt und sofort der Trockensubstanzgehalt desselben festgestellt. Ferner sind Stickstoffbestimmungen auszuführen. Vergleicht man nun schliesslich den Stickstoffgehalt der benutzten Samen mit demjenigen der geernteten Pflanzen, so wird man finden, dass zwischen beiden, wenn anders die Experimente sorgfältig durchgeführt wurden, höchstens Differenzen bestehen, die Folgen kleiner Versuchsfehler sind. Die Pflanzen sind nicht im Stande,

den freien atmosphärischen Stickstoff zur Bildung von Eiweissstoffen zu verwerthen[1]).

Will man sich davon überzeugen, dass Keimpflanzen bei ihrer Vegetation im Dunkeln weder freien Stickstoff aus der Luft aufnehmen, noch einen Verlust an Stickstoff erfahren, so sind die Versuche in ähnlicher Weise, wie wir dies beschrieben haben, anzustellen. Man hat nur dafür zu sorgen, dass die Untersuchungsobjecte nicht von Lichtstrahlen getroffen werden[2]).

19. Der Nachweis des Ammoniaks und der Salpetersäure im Wasser und in der Pflanze.

Um sich davon zu überzeugen, dass in der Natur anorganische stickstoffhaltige Verbindungen (Ammoniak, Salpetersäure), die von den Gewächsen bei ihrer Ernährung verwerthet werden können, vorhanden sind, ist es zu empfehlen, das Wasser (Fluss-, Teich- oder Brunnenwasser) auf einen Gehalt an den beiden genannten Substanzen zu prüfen. Die Untersuchung auf Ammoniak geschieht mit Hülfe des Nessler'schen Reagens. 2 Grm. Jodkalium werden in 5 Ccm. Wasser aufgelöst und der Flüssigkeit unter Erwärmen etwas mehr Quecksilberjodid hinzugefügt, als dieselbe zu lösen vermag. Die Lösung wird nach dem Erkalten mit 20 Ccm. Wasser verdünnt, filtrirt und mit Kalilauge versetzt (auf 20 Ccm. Filtrat 30 Ccm. Kalilauge, die auf 1 Thl. Aetzkali 2 Thl. Wasser enthält). Man füllt nun zwei Röhren mit dem zu untersuchenden Wasser an, versetzt die Flüssigkeiten mit Natronlauge, filtrirt, wenn erforderlich, und bringt zu dem Wasser in der einen Röhre etwa 30 Tropfen des Nessler'schen Reagens. Ein Vergleich des Farbentons der Flüssigkeiten in den beiden Röhren lehrt, ob Ammoniak vorhanden oder ob dies nicht der Fall ist, denn bei Gegenwart desselben färbt sich die mit dem Reagens versetzte Flüssigkeit röthlich. Um die Anwesenheit von Salpetersäure im Wasser festzustellen, wird ein Tropfen desselben in ein weisses Porzellanschälchen gebracht und mit 2 Tropfen Brucinlösung (durch Schütteln von Brucin mit Wasser hergestellt) versetzt. Jetzt fügt man noch einige Tropfen concentrirter Schwefelsäure[3]) hinzu. Eintretende Röthung zeigt die Anwesenheit von Salpetersäure im Wasser an. Um die Gegenwart äusserst kleiner Salpetersäuremengen im Wasser noch festzustellen, verdunstet man einige Ccm. desselben und behandelt den Rückstand nun mit Brucinlösung und Schwefelsäure[4]).

Sehr bequem lässt sich die Gegenwart der Salpetersäure im Wasser auch feststellen, wenn man einige Ccm. Wasser in einer Porzellanschale verdampft und mit Hülfe eines Glasstabes zu dem Rückstande Diphenylamin, das in Schwefelsäure gelöst ist (0,05 Grm. Diphenylamin in 10 Ccm.

---

1) Diese Thatsache ist namentlich von Boussingault (vgl. Compt. rend., T. 39, p. 601) festgestellt worden.

2) Die Resultate meiner bezüglichen Versuche, sowie die Ergebnisse der Arbeiten anderer Beobachter habe ich in meiner vergleichenden Physiologie des Keimungsprocesses der Samen, 1880, zusammengestellt.

3) Die Schwefelsäure muss natürlich frei von Salpetersäure sein und nicht an und für sich mit Brucinlösung eine Röthung hervortreten lassen. Die Schwefelsäure kann man aber von eventuell vorhandener Salpetersäure befreien, indem man sie unter Zusatz von sehr wenig Schwefel zum Sieden erhitzt.

4) Vgl. Reichardt, Grundlagen zur Beurtheilung des Trinkwassers, 1880, S. 154 und 143.

reiner concentrirter Schwefelsäure gelöst) bringt. Bei Salpetersäuregegenwart tritt in Folge der Bildung von Anilinblau Blaufärbung ein.

Ziemlich reich an Nitraten ist der Saft der Zuckerrübe. Wenn man Schnitte der Wurzel auf dem Objectträger mit der erwähnten Diphenylaminlösung behandelt, so erfolgt intensive Bläuung derselben[1]). Einen hübschen Vorlesungsversuch zum Nachweis von Nitraten in der Rübe kann man derartig anstellen, dass man eine Wurzel durchschneidet und die Schnittfläche einfach mit Diphenylaminlösung betupft. Die Bläuung tritt sofort hervor.

20. Die Salpetersäure als Pflanzennahrungsmittel.

Im Boden und im Wasser finden sich salpetersaure Salze vor, die von den höheren Pflanzen als Nahrungsmittel verwerthet werden können. Dass die Nitrate thatsächlich im Stande sind, den Stickstoff, welcher

Fig. 17. Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wassercultur bei Ausschluss aller Stickstoffverbindungen in der Nährstofflösung zur Entwickelung gebracht worden ist.

1) Vgl. Molisch, Berichte d. deutschen botan. Gesellschaft, 1. Jahrgang, S. 150.

für die Eiweissbildung und die normale Entwickelung der Gewächse erforderlich ist, zu liefern, lässt sich mit Hülfe der Methode der Wassercultur darthun. Als Untersuchungsobjecte dienen Mais, Hafer oder Buchweizen. (Ich benutzte Mais mit sehr gutem Erfolg). Die Experimente werden in der Weise, wie es unter 1 angegeben ist, angestellt. Eine oder einige Pflanzen entwickeln sich in Berührung mit einer Nährstofflösung, welche die auf S. 4 aufgeführte Zusammensetzung besitzt (a). Andere Pflanzen gelangen mit einer Lösung in Contact, welche ebenso wie jene zusammengesetzt ist, nur statt des salpetersauren Kalkes 1 Grm. schwefelsauren Kalk im Liter enthält (b). Die Pflanzen von a entwickelten sich bei meinen Versuchen sehr normal; diejenigen von b zeigten dagegen nach einigen Wochen ein sehr kümmerliches Aussehen (vgl. Fig. 17). Die unteren Blätter vertrockneten, und die Pflanze wuchs äusserst langsam. Den Versuchsobjecten standen nur die stickstoffhaltigen Reservestoffe des Samens als Stickstoffquelle zur Disposition; sie konnten höchstens noch kleine Ammoniakmengen aus der Luft aufnehmen, aber diese reichten nicht entfernt hin, um eine üppige Entwickelung des Organismus herbeizuführen.

Es ist auch lehrreich, Pflanzen in mit verdünnter Salzsäure, sowie Wasser gewaschenem und ausgeglühtem Quarzsande, den man in einem Falle ab und an mit einer completen Nährstofflösung, im anderen mit einer salpetersäurefreien Nährstofflösung begiesst, zu cultiviren. Auch hier wird sich die Pflanze unter den zuletzt erwähnten Bedingungen alsbald als eine solche verrathen, die sich im Stickstoffhunger befindet.

21. Das Ammoniak als Pflanzennahrungsmittel.

Will man sich davon überzeugen, dass die höheren Pflanzen im Stande sind, Ammoniaksalze, die sie mit Hülfe ihrer Wurzeln aufnehmen, für die Eiweissbildung zu verwerthen, so cultivire man Maispflanzen oder andere Gewächse in einer Nährstofflösung, die genau so wie die unter 1 erwähnte zusammengesetzt ist, nur statt des salpetersauren Kalkes 0,5 Grm. phosphorsaures Ammoniak ($2\,NH_4\,H\,PO_4$) und 0,5 Grm. schwefelsauren Kalk enthält. Es ist hier besonders darauf zu achten, dass die Reaction der Nährstofflösung während der Versuche keine wesentliche Veränderung erleidet, also stets eine schwach saure bleibt. Trägt man diesem Momente Rechnung, so gedeihen die Untersuchungsobjecte gut. Fraglich ist übrigens, ob das Ammoniak nicht in der Pflanze vor seiner Verwerthung zur Eiweissbildung durch Oxydation in Salpetersäure übergeführt wird. Aber immerhin lehrt unser Experiment doch, dass das Ammoniak überhaupt ein Nahrungsmittel der höheren Pflanzen repräsentirt[1]).

22. Der Ort der Eiweissbildung in den höheren Pflanzen.

In den Blättern werden reichliche Mengen von Kohlehydraten durch Assimilation erzeugt. Der Transpirationsstrom führt den Blättern salpetersaure Salze zu, und es ist daher anzunehmen, dass die Eiweissbildung zumal in den erwähnten Organen vor sich geht. Freilich kön-

1) Vergl. G. Kühn und Hampe, Versuchsstationen, 1867.

nen sowohl in grünen als auch in chlorophyllfreien Zellen Eiweissstoffe erzeugt werden, aber das Resultat der folgenden Beobachtung führt doch zu der Ansicht, dass bestimmte Gewebe der Blätter eine besonders wichtige Rolle bei der Proteinstoffproduction spielen.

Wir stellen Querschnitte durch ein ausgewachsenes Blättchen von Trifolium pratense her. (Vergl. Fig. 2, S. 8.) Abgesehen von der Epidermis sehen wir das einschichtige Palissaden- und das mehrschichtige Schwammparenchym. Der Bast- und Holztheil der Gefässbündel sind deutlich zu erkennen. Der Weichbast wird nach aussen von Bastfasern umgeben, und ebenso wird der Holzkörper nach aussen von stark verdickten Sklerenchymfasern umsäumt. Auf der Aussenseite des Bastfaserbeleges und ebenso auf der Aussenseite der den Holzkörper umrahmenden dickwandigen Zellen ist eine einfache Lage chlorophyllfreier Zellen, die Krystalle von oxalsaurem Kalk enthalten, vorhanden. Die Krystallscheiden bedecken nur den Rücken der Faserstränge; seitwärts erstrecken sie sich nicht weit[1]).

Da nun, wie wir unter 23 sehen werden, salpetersaure (und auch schwefelsaure) Salze unter den in den Pflanzen herrschenden Bedingungen von der Oxalsäure, die so sehr allgemein in Pflanzenzellen angetroffen wird, zersetzt werden können, so liegt die Annahme nahe, dass die erwähnten Krystalle von oxalsaurem Kalk als Producte derartiger Reactionen aufzufassen sind. Die Salpetersäure und Schwefelsäure können mit dem in den grünen Blattzellen gebildeten stickstofffreien organischen Material unter Vermittelung des Protoplasmas zur Eiweissbildung Verwendung finden, und zwar ist es höchst wahrscheinlich, dass diese Proteinstofferzeugung zumal in den Elementen des Weichbastes vor sich geht[2]), denn diese sind sehr eiweissreich. Wir kommen hierauf im dritten Abschnitt bei Besprechung der Siebröhren zurück.

23. Die Zersetzung der Nitrate in den Pflanzen.

Es wurde bereits darauf hingewiesen (vgl. unter 22), dass die zur Eiweissbildung erforderliche Salpetersäure aus salpetersauren Salzen unter Vermittelung von Pflanzensäuren, zumal der Oxalsäure, in Freiheit gesetzt wird, während andererseits oxalsaure Salze entstehen. Diese und ähnliche Reactionen sind auch noch insofern von Wichtigkeit, als durch ihr Stattfinden die Pflanzensäfte von einem Uebermaass von Kalksalzen befreit werden können, denn der oxalsaure Kalk ist ja eine sehr schwer lösliche Verbindung und scheidet sich in der That in den Pflanzen sehr allgemein in Krystallform ab.

In der Pflanze findet die Einwirkung der Oxalsäure auf Kalk oder Kalisalze auf jeden Fall in sehr verdünnter Lösung statt, und daher hat es Interesse, Versuche zur Beantwortung der Frage anzustellen, ob die Reactionen, von denen hier die Rede ist, überhaupt noch bei Gegenwart sehr grosser Wasserquantitäten stattfinden[3]).

Man stelle eine Anzahl von Gläsern auf, die Lösungen von 0,205 Grm. (1 Aequivl.) salpetersauren Kalk in 400 Ccm. Wasser ent-

---

1) Vgl. H. de Vries, Landwirthsch. Jahrbücher, B. 6, S. 900 und Tafel 44, Fig. 3.

2) Vgl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 392.

3) Specielleres über Nitratzersetzungen vgl. bei Emmerling, Versuchsstationen, B. 17 und B. 30.

halten. Ferner bereite man sich Auflösungen von je 0,090 Grm. wasserfrei gedachter Oxalsäure in je 100 Ccm. Wasser. Vermischt man nun je 400 Ccm. der Kalksalpeterlösungen mit je 100 Ccm. der Oxalsäurelösungen bei gewöhnlicher Temperatur, so entstehen Niederschläge von oxalsaurem Kalk, während Salpetersäure frei wird. Die Zeit ist aber nicht ohne Einfluss auf den Verlauf der Reaction, wovon man sich überzeugen kann, wenn man die Menge des gefällten oxalsauren Kalkes in einem Falle sofort, im anderen erst nach Verlauf von 1, 2 oder 3 Tagen ermittelt. Je länger die Oxalsäure auf das Kalksalz eingewirkt hat, um so grösser ist die Menge des abgeschiedenen oxalsauren Kalkes. Bei der quantitativen Bestimmung des letzteren wird derselbe am zweckmässigsten in bekannter Weise in Sulphat übergeführt.

Dass in der That Salpetersäure frei wird, wenn Oxalsäure auf salpetersaures Kali einwirkt, davon kann man sich auf folgende Weise überzeugen. Es werden 5 Glashäfen (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*), von denen jeder 500 Ccm. Wasser enthält, aufgestellt. *a* erhält einen Zusatz von 0,210 Grm. Salpetersäure ($H NO_3$), *b* einen Zusatz von 3,000 Grm. Oxalsäure (dieselbe wasserfrei gedacht), *c* einen Zusatz von 0,337 Grm. salpetersaurem Kali, *d* einen Zusatz von 0,210 Grm. Salpetersäure und 3,000 Grm. Oxalsäure und *e* einen Zusatz von 0,337 Grm. salpetersaurem Kali und 3,000 Grm. Oxalsäure. In die Versuchsflüssigkeiten werden Marmorplättchen (vgl. Fig. 18, *M*) von möglichst gleicher Grösse (40 Mm. Länge und Breite und 5 Mm. Dicke) hineingehängt. Zum Aufhängen dienen Fäden, die an Stäben, welche auf dem Rande der Häfen ruhen, befestigt sind. Ueberlässt man die Flüssigkeiten sich selbst, so ergiebt sich, dass sich *a* nicht trübt, ebensowenig *b*, denn die Marmorplatte bedeckt sich mit einer Kruste von oxalsaurem Kalk, die der weiteren Wirkung der Oxalsäure ein Ziel setzt. Die Flüssigkeit in *c* bleibt auch klar, in den Glashäfen *d* und *e* bilden sich aber bedeutende Niederschläge von oxalsaurem Kalk. In *d* wirkt die Salpetersäure auf den Marmor ein. Es entsteht salpetersaurer Kalk, der nun unter Bildung von oxalsaurem Kalk und Freiwerdung von Salpetersäure, die ihrerseits abermals auf den Marmor einwirkt, von der vorhandenen Oxalsäure zersetzt wird. Wenn in *e* ein bedeutender Niederschlag entsteht, wie dies thatsächlich der Fall ist, so kann diese Erscheinung nur dadurch zu Stande kommen, dass die Oxalsäure aus dem salpetersauren Kali Salpetersäure frei gemacht hat, welche sich nach ihrer Bildung dann ebenso verhält, wie die Salpetersäure in *d*. Die Reactionen, von denen hier die Rede ist, gehen, wovon ich mich überzeugte, so energisch vor sich, dass in *d* und *e* bereits nach einer halben Stunde eine erhebliche Menge von oxalsaurem Kalk zur Abscheidung gelangt ist. Man kann also auf die angegebene Weise ganz bequem in Vorlesungen die Thatsache demonstriren, dass die Oxalsäure im Stande ist, das salpetersaure Kali zu zersetzen.

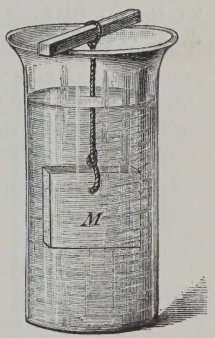


Fig. 18. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung von Oxalsäure auf Nitrate.

III. Die Aschenbestandtheile der Pflanzen.

24. Die mechanische Bodenanalyse.

Für die Beurtheilung der Natur eines Bodens ist es von grosser Wichtigkeit, den Gehalt desselben an gröberen und feineren Elementen genau zu ermitteln. Man unterscheidet daher bereits seit langer Zeit zwischen dem Skelett und der Feinerde des Bodens. Die letztere beansprucht unsere besondere Aufmerksamkeit, denn sie ist die Trägerin der wichtigsten Bodeneigenschaften und liefert den Pflanzen in erster Linie das Mineralstoffmaterial, dessen sie zu ihrer Ernährung bedürfen. Um die für den Zweck der chemischen Bodenanalyse erforderliche Feinerde zu gewinnen, wird der lufttrockne Boden auf ein Sieb von 0,3 Mm. Maschenweite gebracht und die Feinerde einfach ausgeschüttelt. Handelt es sich aber darum, den Feinerdegehalt eines Bodens zu bestimmen, so werden 50 Grm. lufttrockner Erde in einer Schale mit Wasser übergossen, darauf nach einiger Zeit auf ein Sieb von 0,3 Mm. Maschenweite gebracht, und die Feinerde mit Hülfe eines Borstenpinsels, zuletzt unter einem feinen Wasserstrahl, ausgewaschen. Den Rückstand auf dem Siebe (Skelett) trocknet man und wiegt ihn. Das Skelett zerlegt man weiter in Streusand, Feinkies, Mittelkies und Grobkies. Es geschieht dies ebenfalls mit Hülfe verschiedener Siebe. Der Grobkies bleibt, wenn man mit dem Knop'schen Siebsatze arbeitet, auf einem Siebe von 4,2 Mm., der Mittelkies auf einem Siebe von 2,7 Mm., der Feinkies auf einem Siebe von 0,9 Mm. Maschenweite zurück.

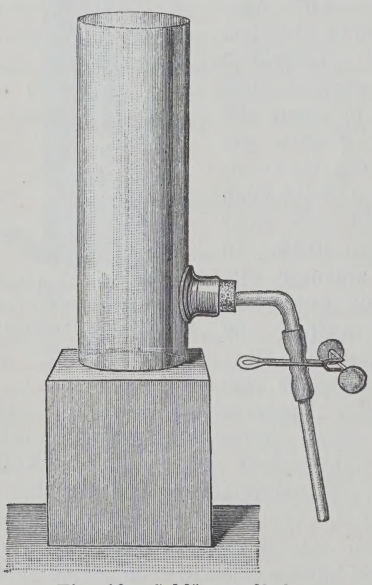


Fig. 19. Schlämmcylinder.

Die Feinerde zerlegt man durch Schlämmen in Feinsand und thonige Theile. Dies geschieht mit Hülfe des Kühn'schen Schlämmcylinders (Fig. 19). Der Glascylinder hat eine Höhe von 28 und einen Durchmesser von 8,5 Ctm. (beides im Innern desselben gemessen). 5 Ctm. über dem Boden des Cylinders befindet sich ein Tubulus, der in der Weise, wie es die Abbildung zeigt, verschlossen werden kann. Man bringt 30 Grm. Feinerde in den Schlämmcylinder, rührt die Erde unter Zuhülfenahme eines Stabes mit Wasser auf und lässt dann 10 Minuten lang ruhig stehen. Jetzt wird die trübe Flüssigkeit abgelassen, ein neues Wasserquantum in den Cylinder gebracht, aufgerührt, und die Flüssigkeit nach 5 Minuten abermals entfernt. Man wiederholt diese Operationen so lange, bis alle thonigen Theile abgeschlämmt erscheinen, trocknet den Rückstand (Feinsand), der im Cylinder zurückgeblieben ist, und bestimmt sein Gewicht[1]). Die

1) Ausführliche Erörterungen über die Function der Feinerde sowie des Skelettes im Boden und über die Aufgabe sowie die Methode der mechanischen Bodenanalyse findet man in meinem Lehrbuche der Bodenkunde, 1876.

Feinerde besteht, wie die Schlämmanalyse unter anderem lehrt, aus Theilchen von sehr verschiedener Korngrösse, eine Thatsache, von welcher man sich schon überzeugen kann, wenn man etwas Feinerde mit Wasser auf einen Objectträger bringt und der mikroskopischen Prüfung unterzieht.

25. Der Nachweis einiger Pflanzennährstoffe im Boden.

Es liegt hier keineswegs in meiner Absicht, eine ausführliche Anleitung zur chemischen Untersuchung des Bodens zu geben. Wer solche Untersuchungen anstellen will und die Absicht hat, sich genau über den Werth der erhaltenen Resultate zu orientiren, muss die Schriften von E. v. Wolff[1]), Knop[2]), sowie meine Bodenkunde[3]) studiren. Hier handelt es sich allein darum, den Nachweis zu führen, dass der Boden bestimmte Pflanzennährstoffe enthält, und zwar verwenden wir als Untersuchungsmaterial stets die Feinerde des Bodens, welche in der Weise, wie es unter 24 angegeben, abgeschieden worden ist.

Will man die Gegenwart des Chlors im Boden constatiren, so werden 5 Grm. Feinerde mit 200 Ccm. Wasser einige Zeit in Berührung gelassen. Man filtrirt dann und bestimmt das Chlor im Filtrat in bekannter Weise mittels salpetersauren Silberoxyds.

Zum Zweck des Nachweises der Schwefelsäure im Boden werden 2 oder 5 Grm. Feinerde mit 20—50 Grm. schwefelsäurefreiem kohlensaurem Natron vermischt. Die Mischung wird in eine Porzellanschale gebracht, mit Wasser übergossen und einige Zeit ausgekocht. In der erhaltenen Flüssigkeit kann die Schwefelsäure leicht qualitativ nachgewiesen oder quantitativ bestimmt werden.

Etwa 10 Grm. Feinerde werden mit Wasser übergossen und unter fortdauerndem Umrühren so lange mit Salzsäure versetzt, bis jede Kohlensäureentwickelung aufgehört hat. Nach einiger Zeit filtrirt man die schwach sauer reagirende Lösung ab, neutralisirt annähernd mit Ammoniak und versetzt unter gelindem Erwärmen mit essigsaurem Natron. Es bildet sich ein Niederschlag, der wesentlich aus Eisenoxyd besteht, während man in der vom Niederschlag abfiltrirten Flüssigkeit unter Zuhülfenahme von oxalsaurem Ammoniak mit Leichtigkeit die Gegenwart des Kalkes nachweisen kann. Auf das ziemlich umständliche Verfahren, welches anzuwenden ist, um im Boden das Vorhandensein anderer Stoffe, zumal des Kalis sowie der Phosphorsäure, festzustellen, gehen wir hier nicht specieller ein; es sind in dieser Hinsicht die citirten Schriften zu vergleichen.

26. Der Gehalt des Wassers an Pflanzennährstoffen.

Es dürfte von Interesse sein, die Gegenwart einiger Körper, welche als Pflanzennährstoffe Bedeutung besitzen, im Wasser festzustellen. Wir benutzen zu derartigen Versuchen Fluss-, Teich- oder Brunnenwasser. Man säuert 20 Ccm. Wasser mit einigen Tropfen Salzsäure an und fügt

1) Vgl. E. v. Wolff, Anleitung zur chem. Untersuchung landwirthschl. wichtiger Stoffe, 1875.

2) Knop, Die Bonitirung der Ackererde, 1871.

3) Vgl. Detmer, Lehrbuch der Bodenkunde, 1876.

Chlorbariumlösung hinzu. Eine Trübung oder ein Niederschlag zeigt die Gegenwart von Schwefelsäure an. Entsteht ein weisser, käsiger, in Ammoniak löslicher Niederschlag, wenn man zu 20 Ccm. Wasser, die mit reiner Salpetersäure angesäuert worden sind, eine Lösung von salpetersaurem Silber hinzufügt, so ist Chlor vorhanden. 50 Ccm. Wasser werden mit Salzsäure angesäuert, darauf mit überschüssigem Ammoniak und endlich mit oxalsaurem Ammoniak versetzt. Ein entstehender weisser Niederschlag zeigt die Gegenwart von Kalk an. Der Kalk ist in den Wässern in Verbindung mit Schwefelsäure oder Kohlensäure (Calciumbicarbonat) vorhanden. Die Gegenwart des letzteren Körpers ist durch Erwärmen des frischen Wassers festzustellen, da sich derselbe bei höherer Temperatur leicht in einfach kohlensauren Kalk, welcher abgeschieden wird und eine Trübung der Flüssigkeit bedingt, sowie Kohlensäure zersetzt. Wird Brunnenwasser, das ziemlich reich an Calciumbicarbonat ist, in einem kleinen Glase bei gewöhnlicher Temperatur einige Zeit lang sich selbst überlassen, so scheidet sich einfach kohlensaurer Kalk in Krystallen ab, von deren Form man sich leicht durch mikroskopische Untersuchung überzeugen kann.

Da hier keine Anleitung zur Wasseruntersuchung gegeben, sondern nur die Ueberzeugung befestigt werden soll, dass das Wasser überhaupt Pflanzennährstoffe enthält, so wollen wir von dem Nachweis anderer Stoffe im Wasser absehen. Uebrigens ist an anderer Stelle bereits gezeigt worden, wie man bei der Untersuchung des Wassers auf einen Gehalt an Ammoniak und Salpetersäure zu verfahren hat[1]).

27. Die Aschenanalyse.

Trotzdem die Ausführung qualitativer sowie quantitativer Aschenanalysen ziemlich umständlich und zeitraubend ist, kann ich demjenigen, welcher sich mit physiologischen Studien beschäftigen will, nur dringend rathen, derartige Untersuchungen auszuführen. Das Pflanzenmaterial wird zunächst sorgfältig gereinigt, z. B. auch vom anhaftenden Staub befreit. Frische Wurzeln müssen alsdann in Scheiben zerschnitten werden, die man, ebenso wie frische Stengel und Blätter, an Fäden im Trockenschrank bei etwa 50° C. zum Trocknen aufhängt. Die trockenen Wurzeln zerstösst man zu einem nicht sehr feinen Pulver, während man die getrockneten Stengel oder Blätter mit der Scheere zerschneidet. Lufttrockne Samen werden im Mörser zu einem groben Pulver zerstossen.

Es sei z. B. die Aufgabe gestellt, die oberirdischen Theile der Kleepflanze auf ihre Aschenbestandtheile zu untersuchen. Ein grösseres Quantum der Pflanzen wird im Trockenschranke getrocknet, zerschnitten, und das Ganze gut durcheinander gemischt. Zur Gewinnung der Asche dienen etwa 100 Grm. Substanz. Die Verbrennung erfolgt am besten in einer grossen Platinschale; in Ermangelung einer solchen kann auch eine Porzellanschale benutzt werden. Bei der Verbrennung selbst, die über dem freien Feuer der Lampe vorzunehmen ist, hat man sorgfältig darauf zu achten, dass die Hitze nicht zu sehr gesteigert werde; die

1) Genaue Angaben über die Methode der Wasseruntersuchung findet man bei Tiemann, Anleitung zur Untersuchung von Wasser, 1874, und Reichardt, Grundlagen zur Beurtheilung des Trinkwassers, 1880.

Asche darf niemals ins Glühen kommen. Die Aschenanalyse wird nach der Vorschrift von E. v. Wolff[1]) angestellt. Ich habe mich oft von der Brauchbarkeit der Methode überzeugt. 1 Grm. der gewonnenen Rohasche dient zur Kohlensäurebestimmung, die man z.B. zweckmässig mit Hülfe des Dietrich'schen Apparates ausführt[2]). 1 Grm. Rohasche wird ferner mit verdünnter Salpetersäure behandelt, um in der erhaltenen Lösung das Chlor zu bestimmen. Weitere 3—4 Grm. Asche werden in einer Kochflasche mit concentrirter Salpetersäure befeuchtet, dann mit starker Salzsäure übergossen und hierauf einige Zeit lang bei beginnender Kochhitze digerirt. Jetzt wird das Ganze in eine Porzellanschale gespült, zur Trockne verdunstet, und die trockene Masse längere Zeit im Trockenschranke belassen, dann mit concentrirter Salzsäure angefeuchtet und mit Wasser extrahirt. Der ungelöste Rückstand (Kieselsäure, Sand, Kohle) wird auf einem getrockneten und gewogenen Filter gesammelt, gut mit heissem Wasser ausgewaschen und nach dem Trocknen gewogen. Der in eine Platinschale gebrachte Inhalt des Filters wird unter Zusatz von Natronlauge mit einer concentrirten Lösung von kohlensaurem Natron mehrmals ausgekocht, die Flüssigkeit durch das schon benutzte Filter filtrirt, um in dem gut ausgewaschenen, aus Sand sowie Kohle bestehenden Rückstande den Gehalt an diesen Körpern durch Verbrennung festzustellen. Die alkalische Lösung dient zur Bestimmung der Kieselsäure; sie wird mit Salzsäure übersättigt, zur Trockne verdampft, der Rückstand mit angesäuertem Wasser ausgekocht, und die abgeschiedene Kieselsäure ihrem Gewicht nach bestimmt.

Die von dem erwähnten, aus Kieselsäure, Sand sowie Kohle bestehenden Rückstande abfiltrirte Flüssigkeit wird auf ein bestimmtes Volumen, z. B. 500 Ccm., gebracht und in zwei abgemessene Portionen getheilt. In der einen Portion bestimmt man die Schwefelsäure mit Chlorbarium, um die vom schwefelsauren Baryt abfiltrirte Lösung bei gelinder Wärme mit Ammoniak, kohlensaurem, sowie oxalsaurem Ammoniak zu behandeln. Die vom entstandenen Niederschlag abfiltrirte Flüssigkeit wird zur Trockne verdampft, der Rückstand schwach geglüht und mit Oxalsäure erhitzt. Der Glührückstand muss mit Wasser behandelt, und die gewonnene Lösung nach dem Filtriren mit Salzsäure versetzt werden. Dann bringt man die Lösung wieder zur Trockne, glüht den Rückstand schwach und bestimmt das Gewicht der nunmehr reinen Chloralkalien. Das Kali trennt man in bekannter Weise mit Hülfe von Platinchlorid vom Natron. Die zweite Portion der oben erwähnten Lösung muss annähernd mit Ammoniak gesättigt und mit essigsaurem Ammoniak versetzt werden, um unter gelindem Erwärmen das vorhandene phosphorsaure Eisenoxyd zur Abscheidung zu bringen und die Phosphorsäure, sowie das Eisenoxyd nach der Formel $Fe_2(PO_4)_2$ zu berechnen. Die vom phosphorsauren Eisenoxyd abfiltrirte Flüssigkeit erhitzt man unter Zusatz von oxalsaurem Ammoniak zur Abscheidung des Kalkes und übersättigt das Filtrat stark mit Ammoniak. Nach 24stündigem Stehen wird die abgeschiedene phosphorsaure Ammoniak-Magnesia auf einem Filter gesammelt, um aus der Menge derselben die Phosphorsäure sowie die Magnesia zu berechnen. Das Filtrat wird, wenn noch Phosphorsäure in demselben vorhanden ist, mit

1) Vgl. E. v. Wolff, Anleitung zur chem. Untersuchung landwirthschl. wichtiger Stoffe, 1875, S. 159.

2) Vgl. Dietrich, Zeitschrift f. analytische Chemie, B. 3 und 4. Der Dietrich'sche Apparat kann von der Firma J. H. Büchler in Breslau bezogen werden.

Magnesiamixtur, oder wenn noch Magnesia zugegen ist, mit phosphorsaurem Natron gefällt.

Bei der Zusammenstellung der Resultate quantitativer Aschenanalysen ist der Gehalt der vegetabilischen Trockensubstanz an Rohasche, sowie an Reinasche (= Rohasche ÷ Kohlensäure, Sand und Kohle) anzugeben. Ebenso muss die procentische Zusammensetzung der Reinasche berechnet werden.

28. Das Mineralstoffbedürfniss der höheren Pflanzen und die Entbehrlichkeit des Natriums sowie des Siliciums für dieselben.

Die Fragen, um die es sich hier handelt, können am bequemsten und sichersten mit Hülfe der Methode der Wassercultur entschieden werden. Diese letztere ist unter 1. eingehender besprochen worden, und wir cultiviren z. B. Maispflanzen nach der dort gegebenen Vorschrift in einer completen Nährstofflösung, die also salpetersauren Kalk, Chlorkalium, schwefelsaure Magnesia, phosphorsaures Kali sowie etwas Eisenchlorid enthält. Gleichzeitig versuchen wir aber auch eine in Sägespänen angekeimte Maispflanze zur Entwickelung zu bringen, indem wir ihre Wurzeln nur mit destillirtem Wasser in Berührung lassen. Diese letztere Pflanze stellt ihr Wachsthum bald ein, während die Untersuchungsobjecte, deren Wurzeln sich mit einer completen Nährstofflösung in Contact befinden, kräftig weiter wachsen. Bei meinen Versuchen entfaltete die Maispflanze, welcher destillirtes Wasser zur Disposition stand, nur vier Blätter; dann hörte ihr Wachsthum auf. Mineralstoffe sind demnach erforderlich, wenn sich Gewächse normal entwickeln sollen. Werden die Pflanzenwurzeln nicht von einer Nährstofflösung, sondern von destillirtem Wasser umgeben, so steht das Wachsthum der Pflanzen still, wenn die Reservestoffe der Samen verbraucht sind.

Unsere Nährstofflösung ist frei von Natron und Kieselsäure. Der Culturversuch lehrt also ferner, dass weder Natrium noch Silicium als unentbehrliche Pflanzennährstoffe zu betrachten sind. Uebrigens ist es möglich, dass das Silicium für manche Organismen einen unentbehrlichen Nährstoff repräsentirt. So z. B. für die Diatomeen, braun gefärbten, mikroskopisch kleinen Algen, denen man so oft auf im Wasser liegenden Steinen oder Pflanzentheilen begegnet, und deren Membranen mit grossen Kieselsäuremengen imprägnirt sind. Für die Gräser ist die Kieselsäure wohl entbehrlich, aber doch vielleicht nützlich, und ähnlich mag es sich mit den Equiseten verhalten. Auf jeden Fall ist der Kieselsäuregehalt der Membranen der Epidermiszellen dieser letzteren ein sehr bedeutender, wovon man sich auf folgende Weise überzeugen kann.

Untersucht man Flächenschnitte des Stengels von Equisetum arvense, so findet man, dass spaltöffnungführende und spaltöffnungfreie Streifen miteinander abwechseln. Jene erscheinen durch die Unterlage aus chlorophyllhaltigen Zellen grün, diese farblos. Die Epidermiszellen sind lang gestreckt; der Bau des Spaltöffnungsapparats ist ein complicirter. Wir legen einen Flächenschnitt auf ein Glimmerplättchen, betupfen den Schnitt mit concentrirter Schwefelsäure und glühen ihn in einer Gas- oder Spiritusflamme aus. Das Glimmerplättchen mit der Asche legt man darauf auf einen Objectträger und bedeckt das Präparat nach Zusatz eines Wassertropfens mit Deckglas. Bei mikroskopischer Unter-

suchung erblicken wir ein Kieselskelett, welches viele der wesentlichen Structurverhältnisse des ursprünglichen Flächenschnittes noch erkennen lässt.

29. Die Unentbehrlichkeit des Phosphors, Kaliums und Eisens für die höheren Pflanzen.

Wir cultiviren Pflanzen, z. B. Maispflanzen, in der Weise mit Hülfe der Methode der Wassercultur, wie es unter 1. angegeben worden ist. Der completen Nährstofflösung geben wir aber eine etwas andere Zusammensetzung wie dort. Sie enthält im Liter, abgesehen von sehr wenig Eisenchlorid, 1 Grm. $Ca\ 2\ No_3$, 0,5 Grm. K Cl, 0,5 Grm. $Mg\ So_4$ und 0,5 Grm. fein pulverisirten $Ca_3\ 2\ Po_4$. Der letztere Körper ist schwer löslich in Wasser und bildet daher einen Bodensatz in den Culturgefässen. Ferner stellen wir eine kalifreie Lösung her, indem wir das K Cl der completen Nährstofflösung durch 0,5 Grm. Na Cl ersetzen. Eine phosphorsäurefreie Lösung stellen wir dar, indem wir den $Ca_3\ 2\ Po_4$ durch 0,5 Grm. $Ca\ So_4$ ersetzen. Eine eisenfreie Lösung erhält man leicht, indem man das Eisenchlorid fortlässt. Die Culturgefässe werden sämmtlich, nachdem sie mit Maispflanzen beschickt worden sind, denselben äusseren Einflüssen ausgesetzt. Es ergiebt sich, dass der Mais in der completen Nährstofflösung vortrefflich gedeiht, während die Pflanzen in der kali- sowie phosphorsäurefreien Lösung ihr Wachsthum alsbald einstellen, nämlich dann, wenn der in den Samen vorhandene kleine Kali- und Phosphorsäurevorrath erschöpft ist. Kalium sowie Phosphor sind demnach durchaus unentbehrliche Pflanzennährstoffe. Der Versuch mit der kalifreien Nährstofflösung lehrt überdies, dass das Kalium im Ernährungsprocess der höheren Pflanzen nicht durch das ihm chemisch so nahe verwandte Natrium vertreten werden kann.

Die Pflanzen in eisenfreien Nährstofflösungen produciren zunächst normale grüne Blätter. Aber bald tritt eine Krankheitserscheinung hervor. Die Untersuchungsobjecte werden nämlich, wenn der Eisenvorrath der Samen erschöpft ist, icterisch und chlorotisch. Die neu entstehenden Blätter erscheinen nicht mehr grün, sondern weiss, und die mikroskopische Untersuchung derselben lehrt, dass keine Chlorophyllkörper in ihren Zellen vorhanden sind. Wenn wir der Nährstofflösung einige Tropfen einer verdünnten Eisenchloridlösung hinzufügen, so ergrünen die vorher weissen Blätter in 2—3 Tagen, und die Pflanzen wachsen nun freudig weiter[1]).

30. Das Mineralstoffbedürfniss der Pilze.

Die Entwickelung der Pilze ist ebenso wie diejenige der höheren Pflanzen an die Gegenwart aufnehmbarer Mineralstoffe gebunden, und um diesen Satz zu beweisen, stellen wir geeignete Culturversuche mit dem Hefepilz, Sacharomyces cerevisiae, an. Wir bereiten uns eine grössere Menge einer Flüssigkeit, die in 100 Thl. 84 Thl. Wasser, 15

1) Die Literatur über die hier behandelten Verhältnisse habe ich in meinem Lehrbuche der Pflanzenphysiologie zusammengestellt.

Thl. reinsten Candiszucker und 1 Thl. weinsaures Ammoniak enthält. Je 100 Ccm. dieser Flüssigkeit gelangen in Kochflaschen. a erhält keinen Mineralstoffzusatz. b erhält einen Zusatz von 0,2 Thl. $K H_2 Po_4$, 0,02 Thl. Ca_3 2 Po_4 und 0,02 Thl. Mg SO_4. c erhält einen Zusatz von 0,02 Thl. Ca_3 2 Po_4 und 0,02 Thl. Mg So_4. d erhält endlich einen Zusatz von 0,2 Thl. Na_2 H PO_4, 0,02 Thl. Ca_3 2 Po_4 und 0,02 Thl. Mg SO_4. Die Oeffnungen der Kochflaschen verstopft man nun mit Watte, erhitzt die Flüssigkeiten zum Sieden und lässt sie sich wieder abkühlen. Man schlämmt und wäscht nun Presshefe möglichst vollkommen aus, vertheilt eine kleine Quantität der Hefe in Wasser und setzt jeder der 4 Nährstofflösungen, indem man die Wattepfropfen, mit denen die Kochflaschen verschlossen sind, für einen Moment lüftet, 1 Ccm. des schwach milchigen Hefewassers zu. Am besten ist es, die vier Fläschchen nunmehr bei einer Temperatur von 25—30° C. im Thermostaten sich selbst zu überlassen.

Lebhafte Gährung und Hefevermehrung, die man quantitativ durch Sammeln der erzeugten Hefe auf einem getrockneten und gewogenen Filter bestimmen kann, tritt nur in der Flüssigkeit b ein. Wenn in den Flüssigkeiten a, c und d eine schwache Trübung (bedingt durch geringe Hefe- oder Bakterienentwicklung) zu Stande kommen sollte, so ist das ein Zeichen für die Gegenwart kleiner Mineralstoff- resp. Kalimengen, die vielleicht im Zucker oder in dem zugesetzten Hefewasser vorhanden waren. Auf jeden Fall kann die Hefe sich nur normal entwickeln, wenn Mineralstoffe nicht in der Nährlösung fehlen. Aber unsere Experimente lehren ferner, dass auch schon dann keine üppige Hefevegetation und keine Gährung eintritt, wenn nur das Kalium, das durch Natrium nicht vertreten werden kann, nicht zugegen ist[1]).

IV. Die organischen Verbindungen als Pflanzennahrungsmittel.

31. Die Humuskörper des Bodens.

Im Boden kommen eine ganze Reihe verschiedener, durch Verwesungs-, Vermoderungs- und Fäulnissprocesse aus Pflanzen- oder Thierresten entstandener organischer Verbindungen vor, die man als Humuskörper bezeichnet. Es ist nicht unmöglich, dass manche grüne Pflanzen (z. B. specifische Moorbewohner) ihr Bedürfniss an organischen Substanzen wenigstens zum Theil auf Kosten humoser Stoffe bestreiten können, und sicher spielen die Humuskörper im Ernährungprocess vieler Pilze (Agaricus-, Boletusarten etc.) eine wichtige Rolle. Wir müssen uns daher mit den humosen Substanzen des Bodens bekannt machen. Fast in jedem Boden sind Humuskörper vorhanden; freilich in sehr verschiedener Menge. Ueberaus reich an Humus ist der Torfboden, den wir daher auch als Untersuchungsmaterial wählen.

---

1) Weiteres über den Mineralstoffbedarf des Hefepilzes vgl. bei A. Mayer, Lehrbuch d. Gährungschemie, 1874, S. 121.

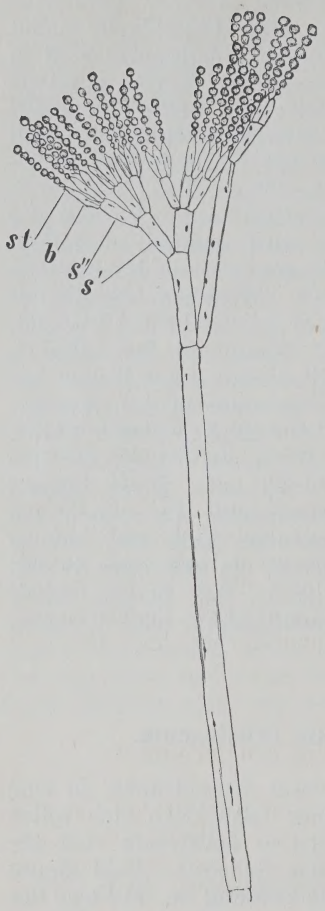
Wir zerreiben Torf unter Zusatz von Wasser in einer Porzellanschale und fügen der Mischung Kalilauge zu. Die Flüssigkeit nimmt eine braune bis schwarze Färbung an. Sie enthält huminsaures Kali in Lösung und kann vom unlöslichen Rückstande des Torfes abfiltrirt werden. Diesen Rückstand berücksichtigen wir nicht weiter; er stellt ein Gemenge von noch nicht völlig humificirten Pflanzenresten, noch nicht durch das Kali extrahirter Huminsäure und einem in Kali unlöslichen Humusstoff (dem Humin) dar. Wir versetzen die Lösung des huminsauren Kalis mit Salzsäure, bis eine deutlich saure Reaction der Flüssigkeit eingetreten ist. Die Huminsäure wird dadurch ausgefällt, während die saure Flüssigkeit noch kleine Mengen gewisser Humusstoffe (Quell- sowie Quellsatzsäure) in Lösung enthält. Wenn man die Huminsäure auf einem Filter sammelt, gut mit Wasser auswäscht und trocknet, so erhält man eine spröde, brüchige, schwarze Masse, die fast unlöslich in Wasser ist. Wird dagegen noch feuchte Huminsäure mit Wasser behandelt, so gehen etwas grössere Mengen der Substanz in das Lösungsmittel über. Diese Huminsäurelösung besitzt eine gelblich-braune Farbe. Trägt man Huminsäure in Ammoniakflüssigkeit ein, so löst sich dieselbe leicht unter Bildung von huminsaurem Ammoniak auf. Diese Lösung vermischen wir mit einer Auflösung von Chlorcalcium. Es entsteht ein Niederschlag, der ein Doppelsalz von huminsaurem Kalk und huminsaurem Ammoniak repräsentirt, eine Verbindung, die sich ohne Zweifel auch unter Umständen in der Natur bilden kann. Der Boden enthält sicher noch eine ganze Reihe anderweitiger Humuskörper, über dieselben ist indessen nichts Genaueres bekannt[1]).

32. Experimente mit Penicillium crustaceum.

Wenn man eine Scheibe Brot mit Wasser durchtränkt, in eine Glasschale legt und nach Bedeckung mit einer Glasglocke sich selbst bei gewöhnlicher Zimmertemperatur überlässt, so entwickeln sich gewöhnlich zunächst kleinere Mucorarten auf dem Substrat. Bald nimmt die Oberfläche des Brotes aber eine grünliche Färbung an, in Folge des massenhaften Erscheinens von Penicillium crustaceum. Unter dem Mikroskop kann man das Mycel sowie die an ihrem Ende pinselförmig verzweigten, Sporenreihen tragenden Fruchthyphen dieses Pilzes leicht erkennen. (Vergl. Fig. 20.)

Will man Culturversuche mit dem Penicillium anstellen, so bereitet man sich zunächst eine Mineralstofflösung, die in 100 Ccm. Wasser 0,05 Grm. phosphorsaures Ammoniak (dargestellt durch Sättigung von Phosphorsäure mit Ammoniak und Eindampfen der Lösung), 0,05 Grm. saures-phosphorsaures Kali ($K H_2 PO_4$),0,03 Grm. schwefelsaure Magnesia und 0,01 Grm. Chlorcalcium enthält. In diese Lösung bringt man die organischen Stoffe, deren Bedeutung als Nahrungsmittel des Penicilliums geprüft werden soll, sowie die Pilzsporen. Ich füllte z. B. 4 kleine Gläser mit je 20 Ccm. der Mineralstofflösung an. 1 erhielt keinen Zusatz; 2 einen Zusatz von 0,2 Grm. Traubenzucker; 3 einen Zusatz von 0,2 Grm. Oxalsäure; 4 einen Zusatz von 0,2 Grm. Citronen-

1) Ueber die Humuskörper vgl. Detmer, Versuchsstationen, B. 14, und Lehrbuch der Bodenkunde, Leipzig, 1876, S. 422.



säure. 1 und 2 wurden noch durch Zusatz einiger Tropfen sehr verdünnter Schwefelsäure angesäuert. Die Aussaat minimaler Sporenmengen geschieht am besten derartig, dass man etwas Penicilliummaterial, welches sich z. B. auf Brot entwickelt hat, in viel Wasser vertheilt und den Nährstofflösungen nun einige Ccm. dieses Wassers hinzufügt. Die Culturgefässe werden mit Fliesspapier bedeckt und sich bei gewöhnlicher Zimmertemperatur im Dunkeln selbst überlassen. Nach mehr als 8 Tagen war bei meinen Experimenten in 1 und 3 keine Penicilliumentwicklung wahrzunehmen, während sich die Flüssigkeiten in 2 und 4 alsbald mit einer dicken Schimmeldecke bedeckten. Traubenzucker und Citronensäure sind demnach gute Nahrungsmittel des Pilzes; Oxalsäure vermag derselbe nicht zu verwerthen. Bei Abwesenheit organischer Körper findet keine Pilzentwicklung statt. Man kann die verschiedensten organischen Stoffe in der angedeuteten Weise auf ihre Bedeutung für die Ernährung des Penicilliums prüfen und, wenn es erforderlich scheint, die Menge der producirten Pilzmasse quantitativ bestimmen, indem man sie abfiltrirt, bei 100° C. trocknet und wiegt[1]).

Fig. 20. Penicillium crustaceum. Gonidienträger mit Zweigquirlen (*s'* und *s''*), Basidien (*b*), Sterigma (*st*) und Gonidien. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

33. Einige weitere Saprophyten.

Werden Stengel von Vicia Faba, die im Herbst längere Zeit auf dem Felde verweilt haben, mehrere Stunden lang in Brunnenwasser eingeweicht, in eine Schale auf feuchtes Filtrirpapier gelegt, und das Gefäss mit einer Glasplatte bedeckt, so entwickelt sich eine üppige Pilzvegetation auf den Bohnenstengeln. Besonders interessant ist das Auftreten der weisslichen, etwa 1 Mm. im Durchmesser besitzenden Fruchtkörper von Chondrioderma difforme, eines Myxomyceten, über dessen Cultur STRASBURGER[2]) genauere Angaben macht. Bei Versuchen, die ich anstellte, traten nach längerer Zeit auf den Bohnenstengeln unter anderem auch die roth gefärbten Fruchtkörper einer Peziza auf.

---

1) Vgl. NÄGELI, Sitzungsberichte d. k. bayr. Akadem. d. Wiss., 1879, mathematisch-physikalische Klasse, und REINKE, Untersuchungen aus dem botanischen Institut d. Universität Göttingen, 1883, Heft 3.

2) Vgl. STRASBURGER, Das botanische Praktikum, 1884, S. 403.

Wird frischer Kuhmist in eine Glasschale gebracht und mit einer Glasglocke bedeckt, so überzieht sich das Substrat in wenigen Tagen mit einer üppigen Pilzvegetation. Es tritt dies ein, wenn der Mist dem Einfluss des Lichtes ausgesetzt wird, und ebenso bei völligem Abschluss des Lichtes. Zunächst wachsen die bis zu einigen Cm. langen Fruchtträger von Mucor Mucedo aus dem Substrat hervor. Jeder Fruchtträger trägt an seiner Spitze ein rundliches Sporangium, und es ist lehrreich, diesen bekannten Pilz einer mikroskopischen Untersuchung zu unterziehen. Später kommt eine weitere Mucorinee zum Vorschein, die kurze Fruchtträger und relativ grosse, halbkugelige, schwarze Sporangien besitzt, nämlich Pilobolus cristallinus. Nach einigen Wochen stellt sich ein Hutpilz mit langem Stiel und kleinem Hut, der Coprinus, ein, und endlich erscheinen oft die gelblichen oder bräunlichen, becherförmigen Fruchtkörper von Ascobolus. Alle diese Pilze entwickeln ihr Mecylium in dem Mist, während ihre sporenerzeugenden Theile aus dem Substrat hervorragen. Da die erwähnten Organismen, wie sämmtliche Pilze, chlorophyllfrei sind, so gedeihen sie auf Kosten des organischen Materials des Mistes.

Wenn man eine Fliege in Wasser wirft, das aus einem Tümpel geschöpft wurde, so entwickeln sich auf dem alsbald faulenden Thierkörper gewöhnlich Repräsentanten aus der Gattung Saprolegnia oder Achlya. Bei mikroskopischer Untersuchung der weissen, den Fliegenkörper umgebenden Fäden zeigt sich, dass dieselben zunächst einzellig sind. Später gliedert sich am Ende eines jeden Fadens ein keulenförmiges Sporangium ab.

34. Experimente mit Sacharomyces cerevisiae.

Wenn man etwas Presshefe in einem Wassertropfen auf dem Objectträger vertheilt und das Deckglas auflegt, so zeigt sich bei mikroskopischer Untersuchung, dass neben den kleinen, rundlichen Hefezellen reichliche Stärkemengen, durch welche die Presshefe verunreinigt ist, vorhanden sind. Auf Jodzusatz färbt sich das Protoplasma der Hefezellen bräunlich. Verdünnte Kalilauge löst den Inhalt der Hefezellen auf; die Zellhaut derselben bleibt zurück. Wenn man sehr energisch gährenden Flüssigkeiten etwas Hefe entnimmt, so ergiebt sich bei mikroskopischer Untersuchung, dass die durch Sprossung entstehenden und sich später von ihren Mutterzellen loslösenden Tochterzellen zunächst noch mit diesen zusammenhängen.

Es werden zwei Glasgefässe, die etwa 150 Ccm. Flüssigkeit fassen können, aufgestellt. In a bringen wir 100 Ccm. einer Flüssigkeit, die aus 85 Thl. Wasser, 15 Thl. Traubenzucker, 0,2 Thl. $K H_2 PO_4$, 0,02 Thl. Ca_3 2 Po_4, 0,02 Thl. $Mg SO_4$ und 1 Thl. salpetersaurem Ammoniak besteht. In b bringen wir 100 Ccm. einer Flüssigkeit, die ähnlich wie die erwähnte Flüssigkeit beschaffen ist, der aber der Zucker völlig fehlt. Man rührt nun etwas gewaschene Presshefe in Wasser auf, lässt absetzen und giebt je 2 Ccm. der milchigen, über dem Bodensatze stehenden Flüssigkeiten zu den Lösungen a und b. Dieselben werden alsdann in einem Thermostaten bei 25—30° C. sich selbst überlassen. In a tritt bald ziemlich erhebliche Gährung ein, und die Flüssigkeit trübt sich in Folge bedeutender Hefeentwickelung. Die Lösung b bleibt klar, weil ihr der Zucker, also die Kohlenstoffquelle für den Hefepilz,

fehlt, und dieser sich nicht zu entwickeln vermag[1]). Wenn man die Flüssigkeit a nach Verlauf längerer Zeit filtrirt und die Hefe auf einem vorher getrockneten und gewogenen Filter sammelt, so kann man auch die Menge der gebildeten Hefe genauer feststellen. Bestimmt man den Zuckergehalt in der Flüssigkeit a vor dem Hefezusatz und nachdem die Gährung längere Zeit angedauert hat (vergl. die Methode im dritten Abschnitt), so zeigt sich, dass in Folge der Gährung, und zwar durch die Lebensthätigkeit des Hefepilzes, viel Zucker verschwunden ist. Der Zucker wird zumal zur Erzeugung von Kohlensäure und Alkohol und ferner für die Zwecke des Wachsthums des Hefepilzes verbraucht.

Es wird eine Lösung hergestellt, die aus 85 Thl. Wasser, 15 Thl. Traubenzucker, 0,2 Thl. $K H_2 PO_4$, 0,02 Thl. $Ca_3 2 Po_4$, 0,02 Thl. $Mg SO_4$ und 1 Thl. Pepsin besteht (a). Die Lösung b ist ähnlich wie a zusammengesetzt. Der Traubenzucker wird in ihr aber durch Rohrzucker (Candiszucker) vertreten. Beide Flüssigkeiten gerathen auf Zusatz reichlicher Hefemengen alsbald in lebhafte Gährung, zumal wenn man sie warm (25—30° C.) stellt. Die Hefe invertirt den Rohrzucker, und das entstehende vergährbare Material erfährt schnell eine Zersetzung in Alkohol, Kohlensäure etc.

Wenn man Flüssigkeiten, die derartig, wie es soeben angegeben worden ist, mit wenig Hefe versetzt und die eine Lösung kühl (bei 10 oder 15° C.), die andere warm (bei 25—30° C.) hält, so ergiebt sich, dass in der ersteren schwaches Hefewachsthum und schwache Hefevermehrung erfolgt, während die zweite alsbald lebhaft gährt und zugleich in ihr eine schnelle Hefevermehrung eintritt. Ebenso kann man sich durch entsprechend angeordnete Experimente leicht davon überzeugen, dass Gährung sowie Hefevermehrung in zuckerhaltigen Lösungen sowohl im Dunkeln als auch bei Lichtzutritt stattfinden.

35. Die Bacterien.

Wir bereiten uns eine Quantität Pasteur'scher Nährlösung (Methode vergl. unter 17) und füllen zwei Kochflaschen bis zur Hälfte damit an. Die Gefässe, in denen wir die Nährstofflösung bereiten, ebenso wie die Kochflaschen müssen besonders sauber gehalten werden. Die Mündung der einen Kochflasche bleibt offen, diejenige der anderen wird mit einem in Wasser ausgekochten und mit einer Bohrung versehenen Kork verschlossen. In die Bohrung führt man den kürzeren Schenkel eines in einem rechten Winkel gebogenen Glasrohres ein, dessen längerer Schenkel am Ende zu einer Spitze ausgezogen worden ist. Mit Hülfe von Siegellack ist ein absolut luftdichter Schluss des Korkes herzustellen. Die Flüssigkeit in beiden Kochflaschen wird nun zum Sieden erhitzt und nach einiger Zeit die bisher offene Spitze des Glasrohres unseres einen Apparates schnell zugeschmolzen. Wir stellen beide Kochflaschen nun bei Seite. Die Pasteur'sche Lösung in dem offenen Glase trübt sich in Folge von Bacterienentwickelung oder der Entwickelung verschiedener anderer Organismen, deren Keime der Lösung aus der Luft zugeführt werden, alsbald, während die Flüssigkeit im verschlossenen Glase klar bleibt. In diese unter Verschluss gehal-

1) Vgl. A. Mayer, Lehrbuch d. Gährungschemie, 1874, S. 107, und Untersuchungen über die alkoholische Gährung, 1869.

tene Lösung können keine Keime eindringen, und diejenigen, welche sie ursprünglich etwa enthielt, sind durch die Siedehitze getödtet worden.

Wird etwas Malzextract (hergestellt durch Behandlung von Malzpulver mit Wasser und Abfiltriren der Lösung) sich selbst überlassen, so trübt sich die ursprünglich klare Lösung im Laufe einiger Tage. Durch mikroskopische Untersuchung lässt sich in der weiter unten anzugebenden Weise feststellen, dass zahllose Bacterien in der Flüssigkeit vorhanden sind. Bei niederer Temperatur (etwa 15 ° C.) scheint sich zumal Bacterium aceti, bei höherer Temperatur (etwa 50 ° C.), der man die Flüssigkeit leicht im Thermostaten aussetzen kann, aber Bacterium acidi lactici im Malzextract einzustellen. Nach Delbrück[1]) gewinnt man den Milchsäurepilz sicher rein, wenn man 200 Grm. Trockenmalz mit 1000 Grm. Wasser übergiesst und das Gemisch, ohne dasselbe zu filtriren, einige Zeit im Thermostaten bei 50 ° C. stehen lässt.

Eine weite Verbreitung in der Natur besitzt der Heupilz, Bacillus subtilis, und um denselben sicher zu gewinnen, übergiessen wir Heu mit

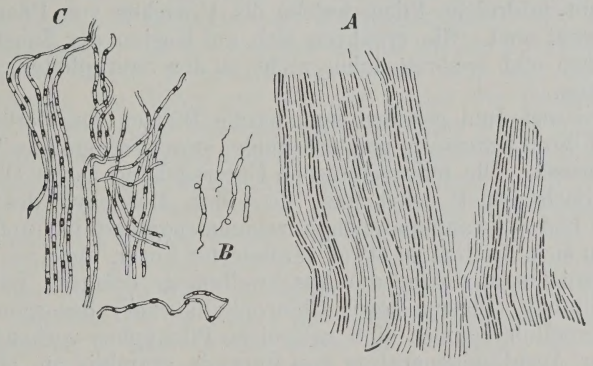


Fig. 21. Bacillus subtilis. *A* Die Kahmhaut, *B* schwärmende Stäbchen, *C* die Sporenbildung. *A* 500, *C* 800, *B* 1000 Mal vergrössert. (Nach Strasburger.)

möglichst wenig Brunnenwasser, lassen 4 Stunden lang bei 36 ° C. stehen, giessen die Flüssigkeit, ohne zu filtriren, ab und verdünnen sie, bis sie ein specifisches Gewicht von 1,004 zeigt. Ist der Aufguss zu sauer, so neutralisirt man ihn jetzt mit kohlensaurem Natron, bringt ihn in einen Kolben von 800 Ccm. Capacität, verschliesst dessen Mündung mit Watte und erhitzt die Flüssigkeit zum Sieden. Sie wird eine Stunde lang bei schwacher Dampfentwickelung gekocht und sich dann bei 36 ° C. im Thermostaten selbst überlassen. Im Verlauf von 1—2 Tagen bildet sich eine graue Haut, eine Kahmhaut, auf dem Heuextract, die aus der Zoogloea des Bacillus besteht. Die Sporen dieses Organismus haben die Siedehitze ertragen, andere Bacterien, die im Aufguss vorhanden waren, sind durch dieselbe vernichtet worden, und wir gelangen auf diese Weise zu einer Reincultur des Heupilzes. Die Kahmhaut besteht aus einer Gallerte, in der zahlreiche, aus Stäbchen zusammengesetzte, parallel zu einander orientirte Fäden vorhanden

1) Vgl. Zopf in Schenk's Handbuch d. Botanik, B. 3, S. 65. Der Milchsäureorganismus tritt ebenso wie der Essigsäurepilz in Coccen-, Stäbchen- und Fadenform auf. Zahlreiche Abbildungen von Bacterien vgl. ebenfalls bei Zopf.

sind. Um die Stäbchen, aus denen die Fäden sich zusammensetzen, recht deutlich hervortreten zu lassen, färben wir sie, ein Verfahren, das häufig bei Bacterienuntersuchungen in Anwendung gebracht wird. Eine kleine Menge der bacterienhaltigen Flüssigkeit wird auf ein Deckglas gebracht, ausgebreitet und einige Zeit der Luft zum Eintrocknen ausgesetzt. Jetzt zieht man das Deckglas mehrere Male schnell durch eine Spiritusflamme, wobei die mit Bacterien bedeckte Fläche nach oben gekehrt sein muss, breitet einen Tropfen wässeriger Methylviolett- oder Fuchsinlösung (am besten dadurch hergestellt, dass man eine kleine Menge vorräthig gehaltener alkoholischer Lösungen dieser Farbstoffe in destillirtes Wasser einträgt) auf dem Deckglas aus, lässt an der Luft trocknen, zieht das Deckglas durch eine Spiritusflamme, trägt einen Tropfen Terpentinöl auf und untersucht bei starker Vergrösserung[1]).

36. Einige parasitisch lebende Pilze.

Es giebt zahlreiche Pilze, welche als Ursachen von Pflanzenkrankheiten bekannt sind. Sie ernähren sich auf Kosten der Substanz lebender Gewächse und gehören daher nicht zu den Saprophyten, sondern zu den Parasiten.

Im Mai und Juni gewahrt man häufig Blätter von Berberis vulgaris, die auf ihrer Unterseite polsterförmige, orangefarbige Anschwellungen erkennen lassen. Die mikroskopische Untersuchung zarter Querschnitte durch ein Berberisblatt lehrt uns, dass das Mesophyll desselben aus Palissaden- und Schwammparenchym zusammengesetzt ist, und diese Gewebe lassen sich, freilich in etwas veränderter Form, auch an denjenigen Stellen wahrnehmen, welche die Anschwellungen erfahren haben. Hier ist der Zellinhalt (Plasma sowie Chlorophyllkörner) desorganisirt, und in den Intercellularräumen sind zahlreiche Pilzhyphen vorhanden. Diese gehören der Aecidiumgeneration von Puccinia graminis an, eben demjenigen Pilz, welcher uns an dieser Stelle interessirt. Bei Behandlung der Schnitte mit etwas Kalilauge, treten die erwähnten Verhältnisse besonders deutlich hervor.

An der Unterseite der Polster gewahrt man eigenthümliche becherförmige Gebilde, welche bei ihrer Entwicklung das Gewebe des Polsters und schliesslich auch die Epidermis desselben durchbrechen. Unter den Bechern sehen wir ein dichtes, aus Hyphen gebildetes Lager. Jeder Becher besteht seinerseits aus einer Hülle (Peridie) und den zahlreiche Sporen erzeugenden Basidien, die im unteren Bechertheile zum Hymenium vereinigt sind. An der Oberseite des Polsters des Berberisblattes sind keine Aecidienfrüchte vorhanden, wohl aber birnförmige Gebilde, die Spermogonien, deren Function noch unbekannt ist. Wahrscheinlich sind aber die in ihm entstehenden Spermatien als männliche Geschlechtszellen aufzufassen.

Die Sporen aus der Aecidiumfrucht von Puccinia gelangen nun von Mitte Juni an auf verschiedenen Gräsern (Weizen, Gerste, Hafer etc.) zur Keimung. Sie befallen zumal die Halme und Blattscheiden und rufen die bekannte Rostkrankheit des Getreides hervor. Bei der Untersuchung zarter Querschnitte aus einem Haferhalm, der in Folge der

1) Specielleres über Bacterienuntersuchung vergl. bei Flügge, Die Mikroorganismen, Leipzig, 1886, und Hueppe, Methoden d. Bacterienforschung, 1886.

Vegetation der Uredolager von Puccinia mit rostbraun gefärbten Streifen bedeckt ist, findet man, dass zahlreiche Pilzhyphen das grüne Gewebe des Stengels durchziehen, den Inhalt der Zellen desselben desorganisirend. Das Mycelium erzeugt ferner an bestimmten Stellen zahlreiche, nach aussen gerichtete Zweige, welche die Epidermis des Halmes durchbrechen und an ihren Enden einzellige Sporen (Uredosporen) abschnüren. Die Uredosporen geben dann schliesslich zur Entstehung der Teleutosporenlager Veranlassung, auf welche wir hier nicht weiter eingehen.

Die gewöhnliche und in so hohem Grade epidemisch auftretende Kartoffelkrankheit wird durch einen Pilz hervorgerufen, der zu den Peronosporeen gehört. Es ist Phytophthora infestans, den man im Sommer auf dem Laube, aber auch im Winter an den Knollen von Solanum tuberosum beobachten kann. Werden kranke Kartoffelknollen, die man leicht an dem Vorhandensein bräunlicher, etwas eingesunkener Flecken an der Schale als solche erkennt, zerschnitten, und lässt man die Stücke etwa zwei Tage lang im dampfgesättigten Raum unter einer Glasglocke liegen, so bedecken sich die Schnittflächen mit einem zarten, weissen „Schimmel". In der kranken Knolle ist das Mycel der Phytophthora von vornherein vorhanden; es findet sich hier in reichlicher Menge zwischen den Zellen und lebt auf Kosten der Bestandtheile dieser letzteren. Unter den bezeichneten Umständen treibt das Mycel aber Gonidienträger nach aussen hervor. Diese Gonidienträger sind, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, in ihrem oberen Theil verzweigt und bilden die Sporangien, welche aber in Berührung mit Wasser leicht abfallen. Lässt man Stücke kranker Kartoffeln längere Zeit unter einer Glasglocke liegen, so entwickelt sich eine reiche Pilzvegetation auf dem Substrat, die aber mit der Phytophthora direct nichts zu thun hat.

Sehr lehrreich ist es auch, den Entwicklungsgang einer Peziza-species, nämlich P. sclerotiorum, näher zu verfolgen. Es ist das ein Pilz, der zu den Discomyceten gehört und z. B. die Sclerotienkrankheit des Rapses bedingt. Ich will beschreiben, in welcher Weise ich den Pilz cultivirte. Einige Sclerotien werden auf die Oberfläche feuchter Gartenerde gelegt, die sich in einem Blumentopfe befindet. Man bedeckt den Topf mit einer Glasplatte, und indem man dafür sorgt, dass die Erde nicht austrocknet, lässt man ihn im diffusen Licht unweit eines Fensters ruhig stehen. Nach 6—10 Wochen entwickeln sich die kleinen, gestielten Fruchtkörper der Peziza aus den Sclerotien. Nun wird eine Mohrrübe in Stücke zerschnitten, und nachdem man die Stücke durch Eintauchen in heisses Wasser oberflächlich abgebrüht hat, inficirt man sie unter Benutzung einer ausgeglühten Nadel mit den in den Fruchtkörpern der Peziza zur Reife gelangten Sporen. Die Keimung der Sporen erfolgt in einigen Tagen auf den in einer Krystallisirschale unter einer Glasglocke liegenden Wurzelstücken. Bald entwickelt sich ein üppig vegetirendes Mycel an der Oberfläche der Mohrrübenstücke, und dieses zerstört auch das durch das Abbrühen nicht getödtete innere Wurzelgewebe. An einzelnen Stellen des Mycels bemerkt man das Auftreten weicher, weisser Ballen, die sich nach und nach mehr verdichten und sich schliesslich mit dunkel gefärbter Rinde umgeben. Es haben sich Sclerotien gebildet, aus denen wieder, freilich erst nach längerer Ruhezeit, Fruchtkörper hervorgehen können. Wir bringen auch eine kleine Menge üppig auf einem Mohrrübenstück vegetirenden Pezizamycels in eine kleine Oeffnung, die wir an einer in einem zugedeckten

Glase liegenden Kürbisfrucht angebracht haben. Das Mycel vermag in das lebende Gewebe einzudringen; es entwickelt sich sehr üppig, bildet Sclerotien, während der Kürbis völlig zerstört wird[1]).

37. Die Flechten.

Die Flechten sind bekanntlich Organismen, welche ihr Dasein dem Zusammenleben (Symbiose) von Pilzen und Algen verdanken. Die Symbiose vollzieht sich im Allgemeinen derartig, dass die Algen vermöge ihres Chlorophyllgehaltes das für ihr eigenes Dasein und dasjenige der Pilze erforderliche organische Material aus anorganischen Stoffen durch Assimilation erzeugen, während die Pilze den Algen Schutz gewähren. Der Flechtenthallus erscheint entweder homöomer oder heteromer gebaut, und wir wollen einen Repräsentanten der letzteren Flechtengruppe, nämlich Usnea barbata, benutzen, um uns über den Bau der in Rede stehenden merkwürdigen Organismen zu orientiren.

Wir verwenden frisches Material oder, wie ich es gethan habe, in Wasser aufgeweichtes Herbarmaterial und stellen einen zarten Querschnitt durch einen stärkeren Thallusast her. Bei mikroskopischer Untersuchung sieht man leicht, dass der Thallus aus einer Mark- und Rindenzone besteht. Die Elemente beider Schichten sind vielfach verzweigte Pilzhyphen. Die Rinde sowie ein axiler Strang des Marks sind von dichter Beschaffenheit, während die periphere Region des Marks aus locker neben einander liegenden Hyphen, die lufthaltige Lücken zwischen sich lassen, zusammengesetzt ist. Die grünen Algen sind an der Grenze von Mark und Rinde leicht zu sehen. Sie bilden hier eine besondere Zone, die überall von Hyphen durchsetzt wird, welche vom Mark zur Rinde laufen. Will man sich über den Bau anderer Flechten unterrichten, so gewährt es zumal Interesse, die Fruchtträger von Cladoniaarten und den dorsiventralen Thallus von Stictaspecies zu untersuchen[2]).

38. Experimente mit fleischverdauenden Pflanzen.

Droserapflanzen, welche man zu physiologischen Versuchen verwenden will, cultivirt man am besten in flachen, irdenen Gefässen auf feuchtem Sphagnum unter Glasglocken. Die Droseraarten trifft man häufig auf sumpfigem, moorigem Boden in grosser Menge an; für Culturen braucht man nur einen Rasen der Versuchspflanzen auf das Torfmoos zu legen. Es ist bekannt, dass die Blattspreite sich einkrümmt, und dass die Tentakeln sich zusammenlegen, wenn das Droserablatt gereizt wird. Wir bringen zunächst ein Stückchen rohen Rindfleisches von der Grösse eines Stecknadelkopfes auf die Mitte des Blattes eines gesunden Exemplars von Drosera rotundifolia. Nach längerer Zeit (bei Versuchen, die ich bei 20° C. anstellte, in 24 Stunden) ist die Einbiegung sämmtlicher oder fast aller Tentakeln erfolgt. Sie umhüllen das Fleischstückchen nunmehr, das Secret ihrer Drüsenköpfchen wirkt

1) Zahlreiche Angaben über parasitische Pilze findet man bei Frank, Krankheiten der Pflanzen, Breslau, 1880.

2) Ueber Bau und Leben der Flechten vgl. die Zusammenstellungen von de Bary in dessen Vergleichender Morphologie und Biologie der Pilze etc., Leipzig, 1884, S. 425.

auflösend auf das Eiweiss ein [1]), aber schliesslich (bei meinen Versuchen nach Verlauf von 48 Stunden) breiten sich die Tentakeln wieder aus. Bringt man stickstofffreie anorganische oder organische Körper (ich experimentirte mit Glasstückchen und Papierkügelchen) auf ein Droserablatt, so erfolgt freilich auch eine Einbiegung der Tentakeln, aber es lässt sich feststellen, dass diese Substanzen langsamer zu Stande kommende Bewegungserscheinungen als Fleischstückchen hervorrufen. Besonders zu beachten ist, dass, mag ein chemischer Reiz (durch Fleischstückchen) oder ein Contactreiz (durch Glasstückchen) auf das Droserablatt einwirken, auch Tentakeln durch Reizfortpflanzung in Bewegung versetzt werden, deren Drüsenköpfchen nicht direct mit der als Reizursache wirkenden Substanz in Berührung gebracht worden sind.

Fig. 22.

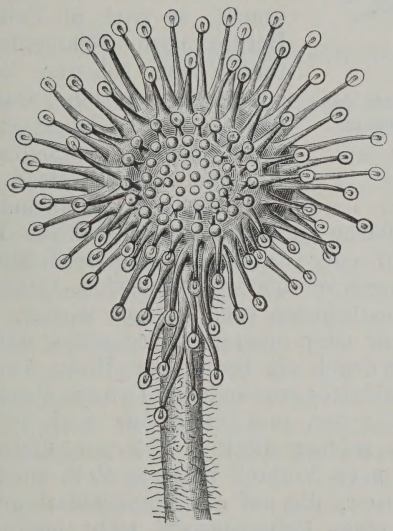


Fig. 23.

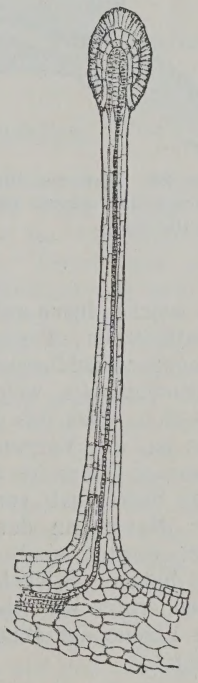


Fig. 22. Blatt von Drosera rotundifolia, von oben gesehen. Viermal vergrössert. (Nach Darwin.)

Fig. 23. Tentakel mit Drüsenköpfchen von Drosera rotundifolia. Vergr. 60. (Nach Strasburger.)

Untersucht man Droseratentakeln mikroskopisch (es ist zweckmässig, dieselben zur Aufhellung des Gewebes auf dem Objectträger in einen Tropfen Chloralhydratlösung zu bringen), so findet man, dass der Tentakelstiel aus lang gestreckten Zellen zusammengesetzt ist; die stärkeren Stiele werden in ihrer Mitte von Schraubengefässen durchzogen. Das Ten-

2) Ein peptonisirend wirkendes Ferment ist aus den Droserablättern von Reess und Will isolirt worden. Vgl. Botan. Zeitung, 1876, Nr. 44.

takelköpfchen besteht in seiner Mitte aus schraubig verdickten Elementen, die von radial gestreckten, fächerförmig angeordneten Elementen umgeben werden. (Vergl. Fig. 23.)

Die für physiologische Unterscuhungen zu benutzenden Exemplare von Dionaea muscipula cultivirt man am zweckmässigsten auf feuchten Torfstücken unter einer Glasglocke. Auf die Morphologie des Dionaeablattes gehe ich hier nicht weiter ein, sondern mache nur auf einige leicht auszuführende Versuche aufmerksam. Werden die Filamente, die auf der Oberseite des Dionaeablattes vorhanden sind, berührt, z. B. mit einem kleinen Holzstückchen, so schliesst sich das Blatt sofort. Alsbald (bei meinen Versuchen nach Verlauf von 24 Stunden) sind die Blattlappen aber wieder ausgebreitet. Werden Stückchen rohen Fleisches auf ein Dionaeablatt gebracht, so tritt, im Falle eine Berührung der Filamente stattfand, eine sofortige Schliessungsbewegung ein. Das Blatt bleibt nun aber lange geschlossen (bei von mir angestellten Versuchen länger als 8 Tage), im Gegensatz zu solchen Blättern, welche durch auf der Blattfläche verbleibende stickstofffreie Körper (Glasstückchen, Papierkügelchen) oder durch einfache Berührung der Filamente zu Schliessungsbewegungen veranlasst worden sind. Oeffnet sich ein Dionaeablatt, welches Fleischstückchen erhalten hat, wieder, so ergiebt sich, dass das Fleisch mehr oder minder desorganisirt und aufgelöst ist, ein Vorgang, welcher durch ein Secret vermittelt wird, das die an der Oberseite des Dionaeablattes vorhandenen Drüsen abscheiden. Dieses Secret ist von saurer Reaction und haftet oft noch in ziemlicher Menge an der Oberseite solcher Blätter, die mit Fleisch gefüttert worden sind, und sich nach Verlauf längerer Zeit wieder geöffnet haben. Stickstofffreie Körper, die auf ein Dionaeablatt gebracht werden, rufen die Abscheidung eines Drüsensecrets nicht hervor; die obere Fläche der Blattlappen bleibt bei Abwesenheit von Eiweissstoffen trocken [1]).

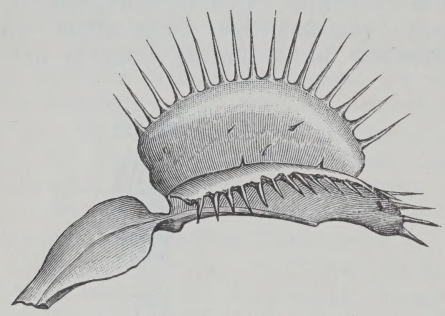


Fig. 24. Blatt von Dionaea muscipula im ausgebreiteten Zustande von der Seite gesehen. (Nach Darwin.)

1) Specielles über das Verhalten der hier erwähnten Pflanzen vgl. bei Darwin in dessen 1876 erschienenem Werke über insektenfressende Pflanzen. Zur allgemeinen Orientirung vgl. Detmer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 65 und 282.

ZWEITER ABSCHNITT.

Die Molekularkräfte der Pflanzen.

I. Die wichtigsten organisirten Gebilde der Pflanzenzellen.

39. Die Membranen der Pflanzenzellen.

Die Membranen der Pflanzenzellen bestehen keineswegs immer der Hauptsache nach aus Cellulose, sondern sie sind häufig mehr oder minder reich an anderweitigen Substanzen, die im Allgemeinen als „Einlagerungskörper" bezeichnet werden können. Durch eine solche Einlagerung fremder Stoffe kommt z. B. die Cutikularisirung und Verholzung der Membranen zu Stande, von denen weiter unten die Rede sein soll. In vielen anderen Fällen bildet freilich die Cellulose den wesentlichsten Bestandtheil der Zellhäute, was sich unmittelbar aus dem Verhalten der letzteren verschiedenen Reagentien gegenüber ergiebt.

Wir bringen Samenhaare einer Gossypiumart oder einige Wattefasern in den Wassertropfen auf den Objectträger. Es lässt sich leicht feststellen, dass die Haare, welche im Grossen und Ganzen kegelförmige Gestalt haben, relativ dicke Membranen besitzen und sich auf Zusatz von Jodjodkaliumlösung (bereitet durch Auflösen von 0,05 Grm. Jod und 0,2 Grm. Jodkalium in 15 Grm. H_2O) nur bräunlich färben. Wir lassen nun Schwefelsäure (Gemisch von 2 Thl. concentrirter Schwefelsäure und 1 Thl. Wasser) vom Deckglasrande aus zum Object treten und beobachten alsbald, dass sich die Haare blau färben. Die Membranen anderer Zellen, welche ebenso wie diejenigen der Baumwollenhaare der Hauptsache nach aus Cellulose bestehen, geben dieselbe Reaction. Desgleichen färben sich alle im Wesentlichen aus Cellulose bestehenden Membranen der Pflanzenzellen bei Behandlung mit Chlorzinkjodlösung blau, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man einige Wattefasern auf dem Objectträger mit dem Reagens behandelt. Die Chlorzinkjodlösung bereitet man in folgender Weise. Man löst reines Zink in Stangen in reiner Salzsäure bei gewöhnlicher Temperatur bis zur Sättigung auf, dampft unter stetigem Vorhandensein metallischen Zinks zur Schwefelsäureconsistenz ein, setzt so viel Jodkalium hinzu, als aufgenommen werden kann, und trägt endlich bis zur Sättigung Jod in die Flüssigkeit ein, das sich allmählich auflöst.

Von dem Vorhandensein der Cuticula kann man sich leicht bei dem Studium eines Querschnitts durch einen jährigen Stengel von Viscum

album oder durch das Blatt einer Aloëspecies überzeugen. Ebenso ist die Cuticula sehr mächtig an der Oberfläche der Blätter von Ilex aquifolium entwickelt. Ein sehr zarter Querschnitt durch den Mittelnerv eines Ilexblattes lehrt, dass die Epidermiszellen an der Blattunterseite ein halbmondförmiges Lumen besitzen. Die cuticularisirten Schichten der Zellmembranen greifen in die Seitenwandungen der Zellen ein und werden nach aussen von der eigentlichen Cuticula überlagert[1]). Die Cuticula der meisten Blätter und anderer Pflanzentheile ist dünn und von sehr zarter Beschaffenheit.

Handelt es sich darum, das Korkgewebe kennen zu lernen, so untersucht man zweckmässig zarte Querschnitte, die man aus der Schale der Kartoffelknolle, dem gewöhnlichen Flaschenkork oder älteren (etwa 1 Cm. dicken) Stengelstücken von Aristolochia Sipho hergestellt hat. Die in radialen Reihen angeordneten Korkzellen sind von mehr oder minder tafelförmiger Gestalt. Bei dem Studium des Periderms von Aristolochia zeigt sich, dass hier breitere Zonen weiterer und schmälere Zonen engerer Korkzellen mit einander abwechseln. Concentrirte Kalilauge färbt die cuticularisirten sowie verkorkten Membranen gelblich. Diese Färbung wird beim Erwärmen der Präparate intensiver[2]).

Wir stellen einen Querschnitt durch einen einige Mm. dicken Lindenzweig her. Das mikroskopische Bild ist leicht zu deuten und vor allem interessirt uns hier der insbesondere aus Gefässen von verschiedener Weite und Holzfasern bestehende Holztheil der Gefässbündel, sowie der Basttheil derselben. Die Bastmassen sind keilförmig zugespitzt, und zwar sind ihre Spitzen der Rinde zugewandt, während die keilförmigen Enden der primären Markstrahlen, welche mit den Bastmassen abwechseln, ihre Spitzen dem Holz zukehren. In den Bastmassen wechseln hell erscheinende Streifen, die aus sehr stark verdickten Bastfasern bestehen, mit dunkel erscheinenden Weichbaststreifen ab. Wir legen unsern Querschnitt jetzt auf dem Objectträger in einen Tropfen alkoholischer Phloroglucinlösung. Nach Verlauf einiger Zeit, wenn der Alkohol verdunstet ist, betupfen wir den Schnitt mit etwas concentrirter Salzsäure und beobachten ihn mikroskopisch. Alle verholzten Elemente haben sich roth gefärbt, die unverholzten sind farblos geblieben, so dass das Phloroglucin also als ein vorzügliches Reagens auf Holzsubstanz anzusehen ist[3]). Es interessirt uns hier nun besonders, dass nicht allein die Elemente des eigentlichen Holzkörpers der Fibrovasalstränge, sondern auch die Elemente der Bastfaserstreifen zwischen den Weichbaststreifen roth gefärbt erscheinen, also verholzte Membranen besitzen.

Wenn man Querschnitte aus 2 Mm. dicken Zweigen von Fagus silvatica in der angegebenen Weise mit Phloroglucin und Salzsäure behandelt, so ergiebt sich, dass in den folgenden Geweben Verholzung eingetreten ist: im gesammten Mark, in den Markstrahlen, im Holztheil der Gefässbündel und in den Bastfaserbelegen, welche sich nach aussen an den Weichbast anschliessen. Die Elemente des Cambiums, des Weichbasts, des Rinden- und Peridermgewebes sind nicht roth ge-

1) Specielles vgl. bei DE BARY, Vergleichende Anatomie d. Vegetationsorgane etc., S. 77.

2) Bezüglich weiterer Reactionen vgl. v. HÖHNEL in Sitzungsberichten d. Akadem. d. Wiss. zu Wien, B. 76, erste Abthl., S. 507.

3) WIESNER: Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. zu Wien, B. 77, 1. Abthl., 1878, S. 60.

färbt, also auch nicht verholzt. Ein recht brauchbares Reagens auf Holzsubstanz ist auch das schwefelsaure Anilin. Man stellt eine concentrirte Lösung desselben in Wasser her, der man noch etwas Schwefelsäure hinzugefügt hat, und bringt einen Tropfen des Reagens zu dem auf dem Objectträger liegenden Object, das untersucht werden soll. Die verholzten Elemente färben sich schnell mehr oder minder gelb. Leuchtend goldgelb fand ich z. B. die Bastfaserbelege der Zweige von Fagus silvatica durch schwefelsaures Anilin tingirt. In Contact mit einer wässrigen Lösung des Methylgrüns färben sich die verholzten Membranen schön grünblau, die unverholzten aber meist blau.

Um die wichtigsten Verdickungsformen der Elemente verholzter Gewebe kennen zu lernen, sind folgende Untersuchungen anzustellen. Die behöften Tüpfel der Tracheiden des Coniferenholzes studirt man am besten an sehr zarten Querschnitten und radialen Längsschnitten aus den peripherischen Theilen des Holzes alter in Alkohol aufbewahrter Stammstücke von Pinus silvestris. (Vergl. Fig. 25). Die Tracheiden sind lang gestreckt, sie greifen mit ihren verjüngten Enden in einander und lassen auf ihren radialen, also denjenigen Wänden, welche den Markstrahlen zugekehrt sind, die behöften Tüpfel leicht erkennen. Stellt man zarte radiale Längsschnitte aus dem secundären Holz etwa 1 Cm. dicker Zweige von Aristolochia Sipho her, so beobachtet man zumal viele Tracheiden mit behöften Tüpfeln sowie enge und sehr weite Gefässe mit behöften Tüpfeln und ringförmigen Diaphragmen. Untersucht man radiale Längsschnitte aus den Zweigen von Berberis vulgaris, so ergiebt sich, dass das ganze Holz fast nur aus Gefässen, die behöft getüpfelt erscheinen, und Holzfasern besteht. Echte Spiralgefässe des primären Holzes der Gefässbündel sind sehr schön neben andern Elementen (getüpfelten Gefässen, Holzfasern etc). zu sehen, wenn man radiale Längsschnitte aus dem Stengel von Helianthus annuus oder dem fertig gestreckten hypocotylen Glied von Ricinus communis untersucht. Man verwende Alkoholmaterial oder bei Helianthus getrocknete Stammstücke[1]). (Vgl. Fig. 26.)

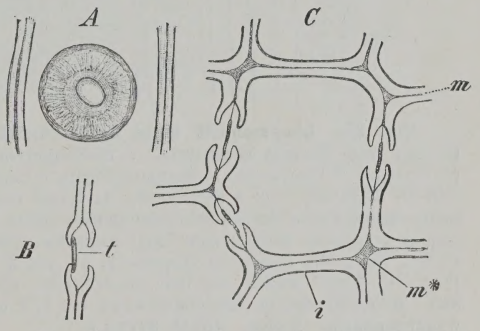


Fig. 25. Pinus silvestris. *A* Ein Hoftüpfel einer Tracheide in Flächenansicht. *B* Ein Hoftüpfel im tangentialen Längsschnitt, *t* der Torus. *C* Querschnitt einer ganzen Tracheide; *m* Mittellamelle, *m** ein Zwickel, *i* das Grenzhäutchen. Vergr. 540. (Nach Strasburger).

Für denjenigen, der sich mit der Untersuchung der Natur der Holzelemente beschäftigt, ist es lehrreich, dieselben mit Hülfe der Macerationsmethode von einander zu trennen. Wir bringen einige Stückchen

1) Ueber die chemische Natur der die Verholzung der Membranen bedingenden Substanzen vgl. Singer, Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. zu Wien, 1882, B. 85, S. 345. Ein wichtiger Bestandtheil verholzter Membranen der Pflanzenzellen, dessen Vorhandensein die erwähnten Reactionen mit Phloroglucin und schwefelsaurem Anilin bedingt, ist das Vanillin

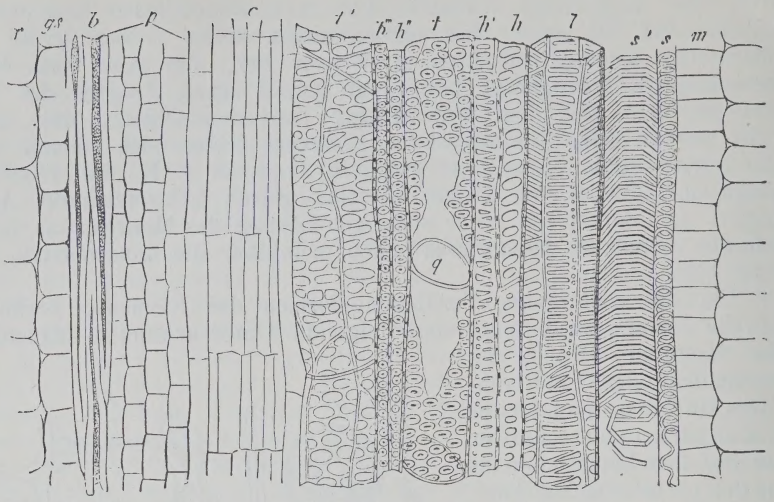


Fig. 26. Längsschnitt eines Gefässbündels des fertig gestreckten hypocotylen Gliedes von Ricinus communis. *r* Rindenparenchym, *gs* Gefässbündelscheide, *m* Markparenchym, *b* Bastfasern, *p* Bastparenchym, *c* Cambium. Im Holztheil des Stranges bilden sich die Elemente, von *s* anfangend, nach und nach bis *t'* aus; *s* erstes enges, sehr langes Schraubengefäss, *s'* weites Schraubengefäss, beide mit abrollbarem Schraubenband, *l* leiterförmig verdicktes Gefäss, zum Theil netzartig verdickt, *h* und *h'* Holzzellen; *t* getüpfeltes Gefäss, bei *q* die resorbirte Querwand; *h''* und *h'''* Holzzellen, *t'* getüpfeltes Gefäss, noch jung, die Tüpfel zeigen erst den äussern Hof, später tritt die Bildung des inneren Porus auf. Man bemerkt in der Gefässwand bei *l*, *t* und *t'* die Grenzlinien der benachbarten, weggenommenen Zellen. (Nach Sachs.)

chlorsauren Kalis in ein weites Reagensrohr, übergiessen dieselben mit so viel Salpetersäure, dass sie völlig von dieser bedeckt sind, werfen nicht zu dünne Längsschnitte aus dem Holz eines 5 Mm. dicken Zweigs von Tilia in die Mischung und erhitzen über einer Spiritusflamme, bis lebhafte Gasentwicklung eintritt. Hat das Reagens noch einige Minuten auf die Holzstückchen eingewirkt, so giessen wir alles in eine grössere Wassermenge, fangen die umherschwimmenden Schnitte mit einem Glasstabe auf, spülen sie in reinem Wasser ab und legen sie in einen Wassertropfen auf den Objectträger. Durch das Macerationsverfahren ist die Mittellamelle zwischen den einzelnen Holzelementen zerstört worden, und die Präparate lassen sich daher jetzt leicht mit Nadeln zerzupfen, so dass die Elemente des Holzes isolirt beobachtet werden können. Wir constatiren vor allem die Gegenwart vieler Holzfasern und Gefässe (diese letztern sind zum Theil in Stücke zerfallen), aber auch dünnwandige Holzparenchymzellen und Tracheiden fehlen nicht völlig. (Vergl. Fig. 27.)

40. Die Stärkekörner.

Eine kleine Menge lufttrocknen Kartoffelmehles wird im Wassertropfen auf den Objectträger gebracht und mit dem Deckglas bedeckt. Oder man zerschneidet eine Kartoffelknolle, schabt mit einem Messer etwas von der Schnittfläche ab und beobachtet die abgeschabte Masse unter dem Mikroskop. Die Kartoffelstärkekörner sind von recht verschiedener Grösse; einige erreichen eine relativ sehr bedeutende Grösse.

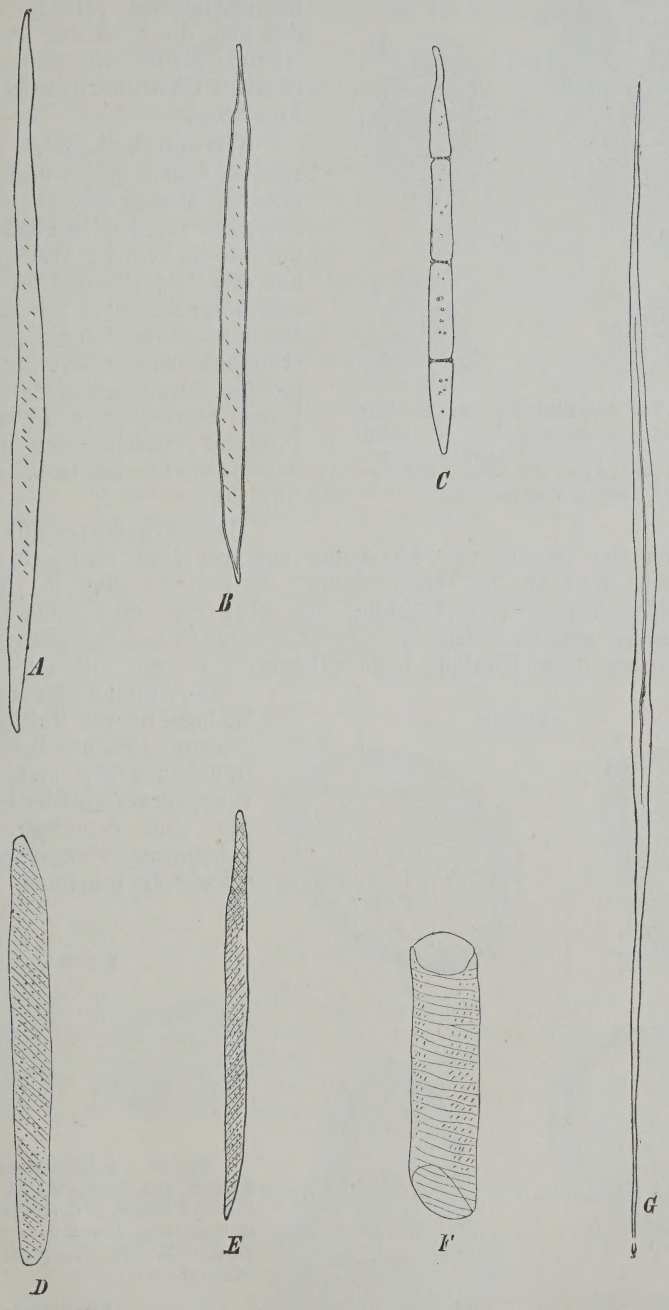


Fig. 27. Tilia parvifolia. Durch Maceration isolirte Elemente aus dem secundären Holz und Bast. *A* und *B* Holzfasern (Libriformfasern). *C* Holzparenchym. *D* und *E* Tracheiden. *F* Gefässglied. *G* Bastfaser. Vergr. 180. (Nach STRASBURGER.)

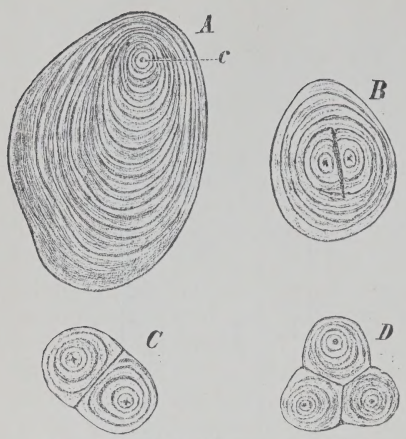


Fig. 28. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle. *A* ein einfaches, *B* ein halb zusammengesetztes, *C* und *D* ganz zusammengesetzte Stärkekörner, *c* der organische Kern. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

Sie sind excentrisch gebaut, d. h. ihr organischer Mittelpunkt, um den sich die Schichten gruppiren, stimmt nicht mit dem geometrischen Centrum überein (vergl. Fig. 28).

Wir durchschneiden ein Rhizom von Canna indica und schaben mit dem Messer eine kleine Menge Substanz von der Schnittfläche ab, um sie in einem Wassertropfen auf den Objectträger zu bringen und mit Deckglas zu bedecken. Bei mikroskopischer Untersuchung erblicken wir zahlreiche schön geschichtete, stark excentrisch gebaute Stärkekörner in unserem Präparat, welche eine beträchtliche Grösse besitzen. (Vergl. Fig. 29.)

Die Stärkekörner aus den Cotyledonen der Samen von Phaseolus vulgaris sind centrisch gebaut. Untersucht man sie im Wassertropfen, so erblickt man in der Mitte eines jeden Kornes eine Höhlung, die aber erst unter dem Einflusse des Wassers entsteht, denn in Glycerin beobachtete Stärkekörner der Bohne lassen diese Höhlung nicht erkennen. (Vergl. Fig. 30.)

Die Amylumkörner aus dem Endosperm von Triticum präsentiren sich uns bei der Untersuchung als runde Gebilde von recht verschiedener Grösse. Sie sind centrisch gebaut. Schichtungserscheinungen sind schwer zu erkennen.

Fig. 29.

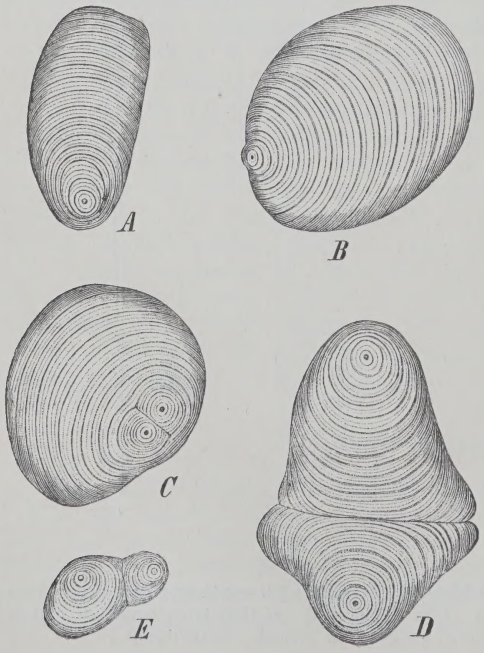


Fig. 30.

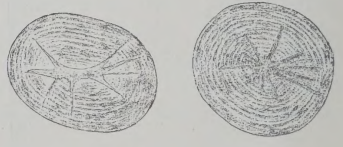


Fig. 29. Stärkekörner aus dem Rhizom von Canna indica. *A* u. *B* einfache Körner, *C* ein halb zusammengesetztes, *D* u. *E* ganz zusammengesetzte Körner. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 30. Stärkekörner aus den Cotyledonen von Phaseolus vulgaris. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

41. Das Verhalten der Stärke zum Jod.

Wenig Kartoffelstärke wird in einem Reagensglase mit destillirtem Wasser übergossen. Man lässt unter häufigem Umschütteln längere Zeit (einige Stunden lang) stehen und filtrirt die Flüssigkeit ab. Bringt man mit Hülfe eines Glasstabes etwas alkoholische Jodlösung zu dem Filtrat, so entsteht keine Bläuung der Flüssigkeit. Reines Wasser vermag den unversehrten Stärkekörnern keine Stärkesubstanz zu entziehen.

Wenig Kartoffelstärke wird in einem Reagensglase mit Wasser übergossen. Erwärmt man, so bildet sich ein trübes Gemisch von Amylumsubstanz und Wasser (Kleister). Fügt man dem erkalteten Kleister etwas alkoholische Jodlösung hinzu, so nimmt die Flüssigkeit eine sehr charakteristische, schön blaue Farbe an. Diese Reaction ist sehr empfindlich, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man eine kleine Kleistermenge in sehr viel Wasser giesst und nun Jodlösung zusetzt. Die Flüssigkeit nimmt auch jetzt noch eine blaue Farbe an. Erwärmt man durch Jodzusatz blau gefärbten Kleister, so verschwindet der charakteristische Farbenton alsbald, weil Wasser von höherer Temperatur ziemlich viel Jod aufzulösen und dasselbe unter den bezeichneten Umständen daher der Amylumsubstanz zu entziehen vermag. Kühlt der Kleister ab, so tritt die blaue Farbe wieder hervor.

Sehr wenig Kartoffelstärke oder kleine Mengen einer anderen Amylumsorte werden auf dem Objectträger im Wassertropfen vertheilt. Nach der Bedeckung mit dem Deckgläschen bringt man einen Tropfen eines Jodreagens (Jodwasser, Jodjodkaliumlösung oder verdünnten Jodalkohol) an den Deckglasrand. Das Jodwasser stellt man dar, indem man Jod mit destillirtem Wasser übergiesst und mit diesem einige Tage lang in Berührung lässt. Zur Bereitung der Jodjodkaliumlösung übergiesst man 3 Thl. Jodkalium mit 60 Thl. Wasser und fügt einen Thl. Jod hinzu. Die Lösung kann durch Wasserzusatz verdünnt werden. Das an den Deckglasrand gebrachte Jodreagens dringt nun allmählich bis zu den Stärkekörnern vor, und es lässt sich bei mikroskopischer Betrachtung feststellen, dass dieselben sich zunächst schwach bläulich, nach und nach aber immer intensiver blau färben, indem sie das Jod mehr und mehr aufspeichern.

Trockene Kartoffelstärke wird auf dem Objectträger in einen Tropfen durch Auflösen von Jod in absolutem Alkohol frisch bereiteter Jodtinctur gebracht. Bei mikroskopischer Prüfung ergiebt sich, dass die Amylumkörner keine blaue, sondern eine bräunliche Farbe annehmen. Lässt man Wasser zutreten, so erfolgt die charakteristische Bläuung. Die Stärkekörner vermögen sich also nur dann auf Jodzusatz blau zu färben, wenn sie mit reichlicheren Wassermengen imbibirt sind.

42. Das Verhalten der Stärkekörner im polarisirten Licht.

Es ist sehr lehrreich, sich über die von Mohl[1]) und Nägeli[2]) studirten Erscheinungen specieller zu unterrichten, welche Stärkekörner zeigen, wenn man sie im polarisirten Licht untersucht. Man bedarf

1) Vgl. H. v. Mohl, Botanische Zeitung, 1858, S. 1.
2) Vgl. Nägeli, Sitzungsberichte d. Akadem. d. Wiss. zu München, 1862, B. I, S. 311.

dazu freilich eines Polarisationsapparates und eines Mikroskopstatives mit hinreichend hohem Objecttisch. Der Polarisator findet seinen Platz unter dem Objecttisch. Als Analysator benutzt man am besten das Analysatorocular von Abbe, welches ebenso wie der Polarisator von Zeiss in Jena zu beziehen ist.

Die Stärkekörner werden in gewöhnlicher Weise in einem Wassertropfen auf dem Objectträger vertheilt und mit Deckglas bedeckt. Wenn die Polarisationsebenen des Analysators und Polarisators parallel zu einander stehen, so erscheint das Gesichtsfeld hell, und unter diesen Umständen muss die Einstellung der Objecte vorgenommen werden. Bei gekreuzter Stellung der Nicols (dieselbe ist leicht zu erreichen, indem wir das Analysatorocular drehen) erscheint das Gesichtsfeld dunkel. Die Amylumkörner heben sich sehr hell vom dunklen Grunde ab und tragen ein schwarzes Kreuz. Sehr schöne Farbenphänomene treten hervor, wenn man Stärkekörner mit Hülfe des Polarisationsmikroskops untersucht, nachdem zwischen das Object und den Polarisator Gypsplättchen von bestimmter Beschaffenheit eingeschaltet worden sind[1]).

Ich habe das Verhalten einer ganzen Reihe verschiedener Stärkesorten im polarisirten Lichte beobachtet; von allen ergab die Kartoffelstärke die schönsten Bilder. An der Ansicht, dass die Micellen der Stärkekörner und sonstiger organisirter pflanzlicher Gebilde die Natur optisch zweiaxiger Krystalle besitzen, kann man heute nicht mehr festhalten; vielmehr ist das eigenthümliche Verhalten der organisirten pflanzlichen Gebilde im polarisirten Licht auf andere Weise zu erklären[2]). Uebrigens lasse ich die Ansicht nicht fallen, wie ich schon an anderer Stelle betonte, dass die organisirten pflanzlichen Gebilde aus Micellen aufgebaut sind[3]).

43. Die protoplasmatischen Gebilde der Pflanzenzellen.

Als protoplasmatische Gebilde der pflanzlichen Zellen sind die sämmtlichen eiweissreichen und organisirten Inhaltsbestandtheile derselben (das eigentliche, lebensthätige Protoplasma, die Zellkerne, Leukoplasten, sowie die Proteinkörner etc.) anzusehen. Die Chlorophyllkörper wurden bereits unter 5 besprochen, und auf andere mit Farbstoffen imprägnirte protoplasmatische Gebilde kommen wir später zurück.

Das Bild, welches das Protoplasma der Zellen unter dem Mikroskop gewährt, ist wesentlich abhängig von der Zahl und Grösse der in denselben vorhandenen mit Zellsaft erfüllten Vacuolen. Zahlreiche kleine Vacuolen im Plasma verleihen demselben ein schaumiges Aussehen, während sich uns das Protoplasma vieler Zellen, zumal der entwickelten, in der in Fig. 4, S. 13 dargestellten oder ähnlicher Weise präsentirt. Wir bringen junge Blätter aus der Endknospe von Elodea ohne weitere Präparation in einen Wassertropfen auf den Objectträger, legen ein Deckglas auf und untersuchen. Der die Innenseite der Zellhaut jeder Zelle auskleidende protoplasmatische Wandbeleg ist leicht zu erkennen, ebenso die Protoplasmaansammlung um den Kern. Jener und diese sind durch

---

1) Vgl. Specielleres in Nägeli's und Schwendener's Mikroskop.

2) Vgl. Strasburger, Bau und Wachsthum d. Zellhäute, 1882, S. 208, und Zimmermann, Berichte d. deutschen botanischen Gesellschaft, B. 2, S. XVII.

3) Vgl. Detmer, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 71.

frei durch den Saftraum der Zellen ausgespannte Protoplasmafäden mit einander verbunden. Im Protoplasma sind zahlreiche Chlorophyllkörper leicht zu sehen. Eine ähnliche Beschaffenheit wie bei Elodea ist dem Protoplasmakörper der violetten Zellsaft enthaltenden und zu einem einfachen Faden verbundenen Zellen der Staubfädenhaare von Tradescantia eigenthümlich (vgl. Fig. 31), wie leicht constatirt werden kann, wenn man im Oeffnen begriffenen Blüthen von T. virginica oder einer verwandten Art einen Haarbüschel mit der Pincette entnimmt und zur mikroskopischen Untersuchung der Zellen schreitet.

Fig. 31. Eine Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia virginica. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

Der Protoplasmakörper wird stets, also auch dann, wenn er von einer Zellhaut umgeben ist, an seiner Oberfläche von einer hyalinen Schicht, der Hautschicht oder dem Hyaloplasma, begrenzt. Diese Hautschicht fehlt aber auch dort nicht, wo Theile des Plasmakörpers an den Zellsaft angrenzen. Die Hauptmasse des Protoplasmas wird von der Körnerschicht desselben gebildet, welche sich durch ihren grossen Wasserreichthum und ihr Bewegungsvermögen, sowie dadurch auszeichnet, dass sie Mikrosomen und oft auch Chlorophyllkörper etc. führt. Das Hyaloplasma der meisten Zellen ist zu zart, um durch Beobachtung direct wahrgenommen werden zu können. In einigen Fällen lässt sich sein Vorhandensein aber leicht constatiren, und namentlich ist die Hautschicht in den Internodialzellen von Nitella, einer Algengattung, deren Repräsentanten in kalkarmen Gewässern häufig angetroffen werden, mächtig entwickelt. Die Massen der Körnerschicht des Protoplasmas sind hier in lebhafter Rotation begriffen, während sich das Hyaloplasma nicht an dieser Bewegung betheiligt.

Ich habe oft und mit Nachdruck darauf hingewiesen[1]), dass keineswegs Identität zwischen todten und lebendigen Eiweissmolekülen des Protoplasmas besteht. Damit in Einklang zu bringen sind die Resultate gewisser Beobachtungen von LOEW und BOKORNY[2]), welche wir etwas ausführlicher erwähnen müssen. Wir stellen Kalilösung von 1,333 spec. Gew. her und vermischen 13 Ccm. derselben mit 10 Ccm. Ammoniakflüssigkeit von 0,960 spec. Gew. Das Gemisch wird auf 100 Ccm. verdünnt. Ferner stellen wir eine 1procentige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd dar. Von der Kaliammoniakflüssigkeit und der Silberlösung werden vor dem Gebrauch je 1 Ccm. mit einander vereinigt und auf 1 Liter verdünnt. Man legt nun in 1 Liter der alkalischen Silberlösung einige Spirogyrafäden (andere Zellen zeigen die Reaction, auf die es hier ankommt, zwar ebenfalls, aber nicht so deutlich), lässt dieselben einige Zeit in der Lösung verweilen (bei höherer Temperatur, z. B. 30° C., etwa 3 Stunden, bei niederer Temperatur länger) und un-

1) Vgl. z. B. DETMER, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 151.

2) Vgl. LOEW und BOKORNY, Die chemische Ursache des Lebens, und Botan. Zeitung, 1882, S. 824.

tersucht sie dann. Das Protoplasma in den Zellen hat sich in Folge eingetretener Reduction des Silbersalzes der Lösung schwarz gefärbt, aber es ist besonders wichtig, dass diese Reaction nur eintritt, wenn die Zellen bei Beginn des Versuchs lebendig waren. Durch Hitze oder Alkohol oder auf andere Weise getödtete Spirogyrazellen nehmen beim Verweilen in der alkalischen Silberlösung nur eine gelbe bis braune Farbe an. Etwas langsamer, aber noch besser tritt die Schwarzfärbung des Protoplasmas ursprünglich lebender Spirogyrazellen ein, wenn man einige Algenfäden in eine Lösung legt, die auf 1 Liter Wasser 10 Milligrm. salpetersaures Silberoxyd und 5 Ccm. Kalkwasser enthält. Der Zutritt von kohlensäurehaltiger Luft ist hier während der Reaction sorgsam auszuschliessen.

Meiner Meinung nach kommt die Schwarzfärbung des Protoplasmas solcher Zellen, die in lebensthätigem Zustande mit den Silberlösungen in Contact gerathen, wesentlich dadurch zu Stande, dass die stickstofffreien, aldehydartigen Körper, welche neben Amidosäuren und Säureamiden in Folge der Zersetzung der lebendigen Eiweissmoleküle entstehen, reducirend auf das Silbersalz einwirken. Todte Eiweissmoleküle sind ohne einen solchen Einfluss auf die Silberlösung, weil sie sich nicht in der Weise wie die lebendigen Eiweissmoleküle zersetzen.

Wir gehen zum Zellkern über. Dass derselbe eiweissartige Substanzen enthält, lehrt sein Verhalten zu Reagentien. In Contact mit Jodjodkalium (hergestellt durch Vermischen von 0,050 Grm. Jod, 0,200 Grm. Jodkalium und 15 Ccm. destillirten Wassers) nehmen die Zellkerne eine gelbliche Farbe an. Methylgrünessigsäure (hergestellt durch Eintragen von etwas Methylgrün in 1procentige Essigsäure) tingirt die Kerne sehr schön. Bei der Behandlung der Zellen mit den erwähnten Reagentien treten die Kerne deutlicher hervor, was oft von besonderer Wichtigkeit ist. Sehr schön färben sich mit Methylgrünessigsäure, wie ich oft constatirte, die Kerne in den Epidermiszellen des Blattes von Aspidistra. Um die Kernreaction mit Jodjodkalium kennen zu lernen, verwenden wir Epidermiszellen des Blattes von Escheveria globosa oder zarte Querschnitte aus der ersten Blattscheide junger Maiskeimlinge. In den Zellen des Parenchyms der Scheide sind ziemlich grosse Zellkerne vorhanden. Schön entwickelte Zellkerne enthalten die den Spaltöffnungsapparaten der Unterseite des Blattes von Tradescantia virginica benachbarten Zellen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man Epidermisstreifen der Blätter mikroskopisch untersucht.

Ein besonderes Interesse besitzen die Stärkebildner für uns, Leukoplasten, denen, wie Schimper[1]) zuerst zeigte, die Function zukommt, aus wandernden oder schon in Reservestoffbehälter übergegangenen gelösten Kohlehydraten Amylumkörner zu regeneriren. Die schönsten und grössten Stärkebildner, welche man kennt, sind in den Scheinknollen von Phajus grandifolius anzutreffen. Diese zu den Orchideen gehörende Pflanze kann man z. B. zum Preise von 3 M. pro Exemplar von Haage und Schmidt in Erfurt beziehen. Zur Untersuchung wählen wir eine nicht zu alte Knolle, halbiren dieselbe und stellen aus ihrer Scheitelgegend dünne Längsschnitte her, die bis zur grün gefärbten Knollenoberfläche reichen. Ich habe mich davon überzeugt, dass es am besten ist, die Schnitte schnell in concentrirte Pikrinsäure zu übertragen, um

1) Vgl. Schimper, Botan. Zeitung, 1880, Nr. 52.

sie in dieser zu beobachten. Die Stärkebildner der Zellen der inneren Schnitttheile sind farblos; nach aussen zu werden die Stärkebildner freilich grösser, aber ihre protoplasmatische Grundmasse ist mit Chlorophyllfarbstoff imprägnirt. Die im Profil gesehenen Stärkebildner (vgl. Fig. 32) erscheinen stäbchenförmig. Sie haben in Folge der Pikrinsäurebehandlung eine gelbliche Farbe angenommen, während die ihnen ansitzenden grösseren oder kleineren Stärkekörner nicht gefärbt sind.

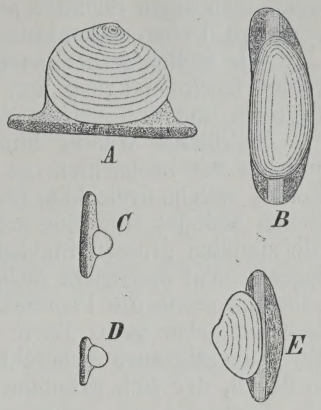


Fig. 32. Phajus grandifolius, Stärkebildner aus der Knolle. *A*, *C*, *D* und *E* von der Seite, *B* von oben gesehen. Vergr. 540. (Nach Strasburger.)

Wir wenden uns nunmehr zur Untersuchung der protoplasmatischen Gebilde ruhender Pflanzentheile. Es interessiren uns hier vor allem die Formen, in denen die Reserveproteinstoffe in den Samen vorhanden sind, und wir nehmen zunächst einen Lupinensamen in Untersuchung, indem wir den Samen halbiren, die Schnittfläche der Cotyledonen befeuchten und zarte Schnitte in Wasser untersuchen. Es treten uns in den Zellen zahlreiche, dicht gedrängt nebeneinander liegende, kleine Aleuron- oder Proteinkörner entgegen, deren Gestalt sich freilich in Folge des Einflusses des Wassers etwas verändert hat. Werden Präparate in Glycerin untersucht, so erscheinen die unveränderten Proteinkörner als stark lichtbrechende Gebilde, die auf den ersten Blick wie kleine Stärkekörner aussehen. Eingebettet sind die Aleuronkörner in den Zellen in eine protoplasmatische Grundsubstanz. Sehr schön entwickelte, grosse Proteinkörner sind, eingelagert in eine fettreiche Grundmasse, in den Endospermzellen der Ricinussamen vorhanden. Das erwähnte Gewebe lässt sich vortrefflich schneiden; die Schnitte können in Wasser untersucht werden, da sich dessen störende Wirkung erst langsam geltend macht. Fügen wir dem Präparat vom Deckglasrande aus Jodalkohol hinzu, so färben sich die Aleuronkörner gelb; sie zeigen überhaupt Eiweissreactionen.

Von besonderem Interesse ist es, Schnitte aus dem Endosperm der Samen von Bertholletia excelsa (Paranüsse) herzustellen. Wird zu einem in Wasser liegenden Schnitt absoluter Alkohol hinzugefügt, so treten in den Proteinkörnern eigenthümliche Einschlussgebilde deutlich hervor. (Abbildungen vgl. bei Pfeffer in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissenschl. Botanik, B. 8, Tafel 36, Fig. 16 und 17.) Es kommen hier einerseits die Eiweisskrystalloide, welche gerade bei Bertholletia relativ gross sind, und ferner die Globoide, Verbindungen einer gepaarten Phosphorsäure mit Kalk und Magnesia, in Betracht. Behandelt man Schnitte aus der Paranuss mit 1procentiger Ueberosmiumsäure (wässerige Lösung der Säure, die im Dunkeln aufzubewahren ist), so erblickt man die Krystalloide noch deutlicher, da sie sich nur langsam gelblich färben, während der übrige Inhalt der Zellen, zumal die fettreiche Grundsubstanz, in der die Proteinkörner liegen, schnell einen dunklen Farbenton annimmt. In den Proteinkörnern von Ricinus kann man das Vorhandensein von Eiweisskrystalloiden und Globoiden ebenfalls feststellen,

wenn man zarte Schnitte aus dem Endosperm mit Alkohol oder besser noch mit Ueberosmiumsäure behandelt. (Vergl. Fig. 33.)

Wir stellen ferner zarte Querschnitte aus den Cotyledonen einer reifen, trocknen Erbse her. Auf die Schnittfläche bringen wir etwas Glycerin und untersuchen das Object auch in Glycerin, dem wir etwa $^1/_3$ destillirtes Wasser hinzugefügt haben. Das mikroskopische Bild, welches wir beobachten, ist in Fig. 34 dargestellt. Wir sehen rundliche Zellen, welche dreieckige Intercellularräume zwischen sich lassen. In den Zellen befindet sich eine sehr feinkörnige Grundsubstanz. Dieser sind die ziemlich grossen Stärkekörner und die kleinen Aleuronkörner eingelagert. Auf Jodzusatz färben sich die Amylumkörner blau, die Grundsubstanz sowie die Proteinkörner, da sie wesentlich aus Eiweissstoffen bestehen, aber gelb. Zarte Schnitte aus den Erbsencotyledonen, in Methylgrünessigsäure gebracht, lassen erkennen, dass in jeder Zelle ein Zellkern, der sich grünblau gefärbt hat, vorhanden ist.

Fig. 33.

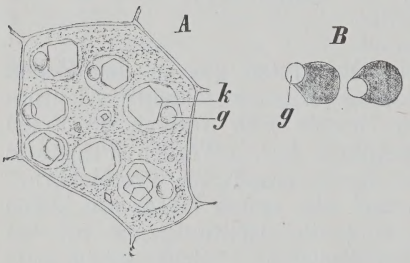


Fig. 34.

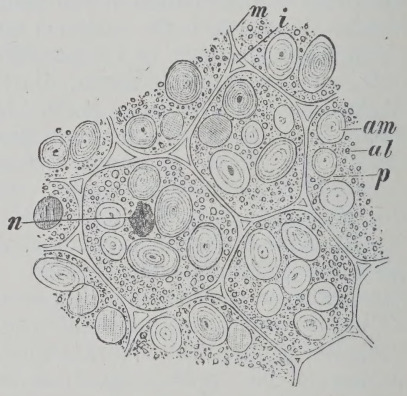


Fig. 35.

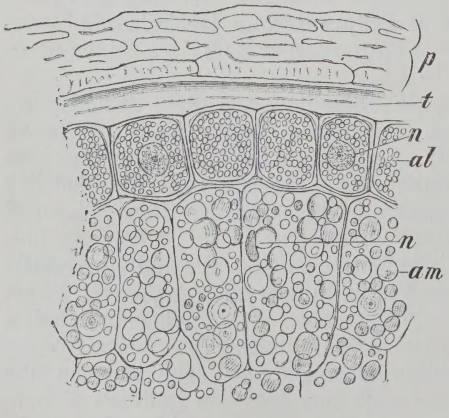


Fig. 33. Aus dem Endosperm von Ricinus communis. *A* eine Endospermzelle mit Inhalt unter Wasser, *B* einzelne Aleuronkörner in Olivenöl. *g* das Globoid, *k* Krystalloid. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 34. Zellen aus den Cotyledonen der Erbse. *m* Zellhaut, *i* Intercellularraum, *am* Stärke-, *al* Aleuronkörner, *p* Grundsubstanz, *n* Zellkern, letzterer nach der Behandlung mit Methylgrünessigsäure ergänzend eingetragen. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 35. Querschnitt durch ein Weizenkorn (Triticum vulgare). *p* Fruchthülle, *t* Samenhaut. In den an letztere anstossenden Endospermzellen: *al* Aleuron-, *am* Stärkekörner, *n* Zellkern. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

Wenn wir aus einem reifen Weizenkorn unter Betupfen der Schnittfläche mit Glycerin einen zarten Querschnitt herstellen und denselben in Glycerin legen, um ihn mikroskopisch zu untersuchen, so finden wir, dass dicht unter der Frucht- und Samenschale, die wir an anderer

Stelle eingehender besprechen werden, eine Schicht rechteckiger Zellen liegt. Die Zellen enthalten keine Stärkekörner, wohl aber viele kleine Aleuronkörner. Die Zellen des tiefer liegenden Gewebes führen reichliche Amylummengen. (Vergl. Fig. 35.)

II. Die Zerstörung der Molekularstructur organisirter pflanzlicher Gebilde.

44. Die Einwirkung niederer Temperaturen auf Pflanzen.

Dem Einfluss niederer Temperaturen gegenüber verhalten sich die Pflanzen sehr verschiedenartig. Manche Gewächse (viele Flechten, Moose und Bakterien, aber auch höhere Pflanzen, z. B. Bellis perennis und Stellaria media etc.) bleiben lebendig, wenn sie bei — 6 = — 8° C. gefroren sind und dann schnell aufgethaut werden. Ich brachte auch Blätter von Primula elatior im Winter in Gläser, die nach dem Verschliessen mit einer Kältemischung, welche aus Schnee und Kochsalz in einem grossen Gefässe hergestellt worden war, umgeben wurden. Die Pflanzentheile blieben 6 Stunden lang einer Temperatur von — 5 = — 8° C. ausgesetzt und wurden dann schnell durch Eintauchen in Wasser von 6° C. aufgethaut. Die Blätter waren bei Abschluss der Experimente nicht getödtet.

Wenn man Kartoffelknollen im Freien oder in Gläsern, die mit einer Kältemischung umgeben werden, einer Temperatur von — 6° C. aussetzt, so gefrieren sie durch und durch und sind in diesem Zustande klingend hart. Blätter, z. B. solche von Crassulaceen, Kohl-, Raps-, Bohnenpflanzen, einer Temperatur von — 6° C. ausgesetzt, werden in Folge des Gefrierens spröde wie Glas. Thaut man die Kartoffelknollen oder die Blätter auf, indem man sie im gefrorenen Zustande in Wasser legt, so gehen sie zu Grunde. Sie sind erfroren und zeigen nunmehr die unter 45 aufgeführten Merkmale.

Die Kartoffelknollen sind, wovon ich mich durch zahlreiche Experimente sicher überzeugte, stets getödtet, wenn sie, nachdem ihr Gewebe wirklich gefroren war, nachträglich aufgethaut werden, mag dies langsam oder schnell geschehen. Man bringe einige Kartoffelknollen in ein möglichst grosses Gefäss mit Wasser und setze dieses einer Temperatur von — 6° C. aus, so dass die Knollen langsam gefrieren. Das nachträgliche Aufthauen des Eises und der Knollen kann sehr langsam herbeigeführt werden, indem man das Gefäss in einen Raum stellt, in welchem eine Temperatur von + 1 — 2° C. herrscht. Die aufgethauten Knollen — und dasselbe Resultat erhielt ich mit Escheveriablättern — sind todt. Ich habe auch Exemplare von Zannichellia palustris, die in Wasser liegend unter dem Einfluss des Lichtes reichliche Sauerstoffmengen abschieden, mit dem Wasser gefrieren lassen. Sie erwiesen sich nach dem Aufthauen als todt und zeigten keine assimilatorische Thätigkeit mehr.

Sehr lehrreich ist es nach meinen Erfahrungen, Blätter von Begonia manicata, deren Blattstiel in Wasser eintaucht, deren Spreite aber

unter einer Glasglocke von Luft umgeben ist, im Freien oder in einem Zimmer einer Temperatur von — 5° C. oder — 10° C. auszusetzen. Die Blätter werden schon in Folge des Gefrierens missfarbig, und dieser Farbenton verschwindet auch nicht wieder, wenn man die Untersuchungsobjecte aufthaut. Die niederen Temperaturen bedingen eine Desorganisation des Protoplasmas, so dass der säurereiche Zellsaft auf die Chlorophyllkörper einwirken kann und das Chlorophyllpigment zersetzt. Wenn man Flächenschnitte erfrorener Blätter von Begonia manicata mikroskopisch untersucht, so ergiebt sich in der That, dass die Chlorophyllkörper nicht, wie im normalen Zustande, grün, sondern gelblich gefärbt sind. Experimente mit den erwähnten Untersuchungsobjecten sind deshalb so lehrreich, weil die bei niederer Temperatur eintretende Farbenänderung der Blätter direct erkennen lässt, dass schon das Gefrieren an sich den Tod ihrer Zellen hervorruft [1]).

Wichtig ist ferner die von verschiedenen Physiologen festgestellte Thatsache, dass dieselben Pflanzentheile, welche im wasserreichen Zustande Schaden leiden, wenn sie gefrieren, im wasserarmen Zustande nicht durch den Einfluss der Kälte leiden [2]). Man kann dies unter Benutzung lufttrockener sowie gequollener Samen von Phaseolus, Pisum, Triticum etc. leicht constatiren. Wenn man z. B., wie ich es gethan habe, einerseits lufttrockene Weizenkörner, andererseits solche, die 7 Stunden lang mit Wasser in Berührung gewesen waren, in kleinen Gläsern 15 Stunden lang einer Temperatur von — 10° C. preisgiebt, so findet man, dass die ersteren, auf feuchtem Sande normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt, noch keimfähig sind, während die letzteren nicht mehr keimen und zu Grunde gehen [3]).

Die gesammten Untersuchungen lassen namentlich diese Thatsache deutlich hervortreten, dass verschiedene Pflanzentheile und dieselben Beobachtungsobjecte in verschiedenen Zuständen keineswegs die gleiche Empfindlichkeit der Einwirkung niederen Temperaturen gegenüber besitzen.

45. Die Veränderungen, welche Pflanzen in Folge des Erfrierens erfahren.

Beim Gefrieren von Pflanzentheilen tritt keineswegs, wie die Erfahrung lehrt, ein Zerreissen der Zellhaut ein. Wenn man z. B. Fäden von Spirogyra im Wassertropfen auf dem Objectträger gefrieren lässt, so sind nach dem Aufthauen keine Risse in den Zellhäuten wahrzunehmen. Wir wissen ja auch, dass beim Gefrieren von Geweben in der Regel nur in den Intercellularräumen etc., nicht aber in den Zellen selbst Eisbildung erfolgt.

Das Erfrieren ist sicher auf eine Zerstörung der Molekularstructur des Protoplasmas zurückzuführen, was sich unmittelbar daraus ergiebt, dass dasselbe, wenn der Tod der Zellen durch Erfrieren eingetreten ist, seine normale Impermeabilität für Farbstoffe, Säuren etc. verloren hat.

---

1) Vgl. Detmer, Botan. Zeitung, 1886, Nr. 30.

2) Vgl. Detmer, Vergleichende Physiologie d. Keimungsprocesses d. Samen, 1880, S. 392.

3) Weitere Literatur: Sachs, Versuchsstationen, 1860, Berichte der sächs. Gesellschaft d. Wiss. 1860, B. 12, S. 27, und Flora, 1862; Göppert, Wärmeentwickelung in d. Pflanze, 1830.

Legt man gefrorene Stücke rother Rüben in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, so nimmt dieses den rothen Farbstoff in grosser Menge auf, während der Saft aus den Zellen nicht gefrorener Stücke rother Rüben, die man nach dem Abspülen in Wasser gelegt hat, nicht austritt. Erfrorene Kartoffelknollen lassen bei leisem Druck grosse Flüssigkeitsmengen ausfliessen. Die Zellen haben in Folge der Desorganisation des Protoplasmas ihren Turgor verloren, ebenso wie die Zellen erfrorener Blätter, welche schlaff herabhängen und bald vertrocknen. Sehr schön lassen sich diese Phänomene an erfrorenen Begonia- sowie Escheveriablättern beobachten.

Wird Stärkekleister zum Gefrieren gebracht und dann aufgethaut, so hat man keine homogene Flüssigkeit mehr vor sich, sondern eine schwammige Masse, in deren Poren sich Flüssigkeit befindet. Es ist hier offenbar eine Umlagerung der Moleküle eingetreten, und das Ergebniss des erwähnten Versuchs ist im Stande, uns manche Vorgänge, welche beim Erfrieren von Pflanzenzellen im Protoplasma derselben stattfinden, einigermaassen zu versinnlichen.

46. Die Eisbildung in gefrierenden Pflanzen.

Ein einige Centim. dicker, gut abgewaschener und dann abgetrockneter Schnitt einer rothen Rübe wird in einer Schale, die man, um die Wasserverdunstung auszuschliessen, mit einer Glasplatte bedeckt hat, einer Temperatur von etwa — 6 ° C. ausgesetzt. Ist der Pflanzentheil vollkommen gefroren, so findet man seine Oberfläche mit einer Eiskruste bedeckt, die, wie geeignete bei Temperaturen unter 0° C. ausgeführte mikroskopische Untersuchungen lehren, aus parallel neben einander gestellten Eissäulen besteht. Besonders reichliche Eismengen findet man an der Unterseite des Rübenschnittes, da wo er den Boden der Schale berührt hat. Dieses Eis ist nicht roth gefärbt, woraus erhellt, dass nicht der Zellsaft, sondern fast reines Wasser aus den Zellen des Untersuchungsobjectes herausgefroren ist.

Unter bestimmten Umständen kann freilich in den Zellen gefrierender Pflanzentheile Eis entstehen; gewöhnlich tritt aber das Wasser beim Gefrieren in die Intercellularräume oder in sonstige Höhlungen der Gewebe über und erstarrt hier erst. Schneidet man an einer grossen Runkelrübe den oberen Theil weg, befestigt denselben aber wieder mit Hülfe eines Bindfadens an seinem ursprünglichen Platze, nachdem man im unteren Theile eine nicht zu grosse Höhlung angebracht hat, und setzt das Untersuchungsobject nunmehr längere Zeit einer Temperatur von etwa — 8 ° C. aus, so sammeln sich beträchtliche Eismassen in der Höhlung an [1]).

Sehr instructiv ist es, den Gang der Temperatur in gefrierenden Pflanzentheilen festzustellen, wie dies zuerst von Müller-Thurgau geschehen ist. Ich habe zu solchen Versuchen den in Fig. 36 abgebildeten Apparat benutzt. Unter der tubulirten Glasglocke *Gg* liegt der Glasring *Gr*. Auf diesen letzteren gelangt das Untersuchungsobject, z. B. die Kartoffelknolle *K*. Mittelst eines Korkbohrers ist in die Knolle ein bis zur Mitte derselben reichendes Loch gebohrt, und dieses dient, nachdem es mit Fliesspapier ausgetrocknet worden ist, zur Auf-

1) Vgl. über das hier Gesagte und das Folgende Müller-Thurgau, landwirthschl. Jahrbücher, B. 9, S. 133.

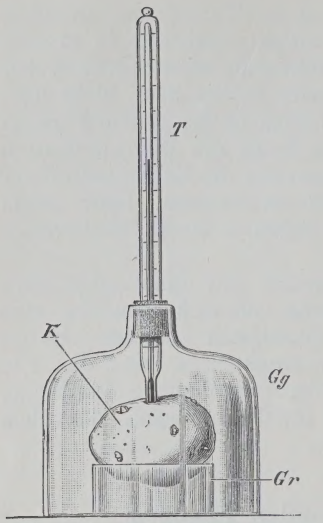


Fig. 36. Apparat zur Untersuchung des Temperaturganges in gefrierenden Kartoffelknollen.

nahme des cylindrischen Quecksilberbehälters eines guten Thermometers *T*. Sehr wünschenswerth ist es, dass die Glasglocke nicht einen, sondern noch einen zweiten zur Aufnahme eines zweiten Thermometers dienenden Tubulus besitzt, um neben der Temperatur der Knolle zugleich diejenige der sie umgebenden Luft unter der Glocke bestimmen zu können. Die ganze Vorrichtung wird in eine grosse Schale gestellt, und die Untersuchung in einem kalten Raume ausgeführt. Man umgiebt die Glocke in der Schale mit einer Kältemischung (Schnee und Kochsalz) und liest nun von 5 zu 5 Minuten den Stand des Quecksilbers in den Thermometern ab. Die Temperatur der Knolle sinkt allmählich auf — 3 = — 4 ° C. Plötzlich aber steigt sie wieder auf etwa — 1 ° C., hält sich längere Zeit ziemlich constant, um dann wieder zu sinken, bis die Temperatur der umgebenden Luft, z. B. — 5 ° C., erreicht ist. Wenn Kartoffelknollen einer Temperatur unter 0 ° ausgesetzt werden, so tritt zunächst, ohne dass Eisbildung in dem Gewebe erfolgt, eine Ueberkältung derselben ein. Ist das Ueberkältungsmaximum erreicht, so tritt die Eisbildung plötzlich ein, und durch die dabei frei werdende Wärme steigt die Temperatur in der Knolle auf den Gefrierpunkt derselben, welcher etwa bei — 1 ° C. liegt. Allmählich sinkt dann die Temperatur der Knolle auf diejenige des umgebenden Mediums herab. Andere Pflanzentheile verhalten sich ähnlich. Ich umwickelte z. B. den Quecksilberbehälter eines Thermometers mit einem Blattstreifen einer Begonie (B. manicata), befestigte den Pflanzentheil mit Hülfe eines Bindfadens am Thermometer und kühlte das Untersuchungsobject ab. Das Ueberkältungsmaximum lag bei — 4, 8 ° C., der Gefrierpunkt bei — 0, 8 ° C. Erst als dieser erreicht war, wurde der Blattstreifen missfarbig (vergl. unter 44).

Um die Thatsache zu begreifen, dass Temperaturen unter 0 ° C. ausgesetzte Pflanzentheile eine Ueberkältung erfahren, und dass ihr Gefrierpunkt nicht bei 0 °, sondern tiefer liegt, müssen wir uns an das Verhalten von Salzlösungen sowie an das Verhalten durch Adhäsionskräfte seitens fester Körper festgehaltenen Wassers beim Gefrieren erinnern. In den Zellen der Pflanzen ist ja auch kein reines Wasser, sondern eine wässerige Lösung verschiedener Stoffe vorhanden, und die organisirten pflanzlichen Gebilde halten das Wasser fest. Reines Wasser gefriert bei 0 °, eine Lösung (z. B. Kochsalzlösung) aber erst bei tiefer liegenden Temperaturen. Je nach den Concentrationsverhältnissen lassen sich Kochsalzlösungen mehr oder weniger überkälten, bevor die Eisbildung beginnt. Die Temperatur der Lösungen steigt dann plötzlich, bis der eigentliche Gefrierpunkt, der stets unter 0 ° liegt, erreicht ist. Man kann diese Verhältnisse leicht durch geeignete Experimente feststellen. Um das Verhalten durch Adhäsionskräfte gebundenen Wassers beim Gefrieren zu untersuchen, habe ich nach Müller-Thurgau's

Vorgange den Quecksilberbehälter eines Thermometers mit Fliesspapier umwickelt, das zunächst mit Wasser durchtränkt und dann wieder äusserlich abgetrocknet worden war. Unter einer mit einer Kältemischung umgebenen Glasglocke niederer Temperatur ausgesetzt, nahm das Fliesspapier allmählich eine Temperatur von etwa — 3° C. an (Ueberkältungsmaximum), und dann stieg die Temperatur plötzlich bis auf etwas unter 0° C.

Das in Lösungen vorhandene sowie das durch Adhäsionskräfte seitens fester Körper gebundene Wasser — und das Wasser in der Pflanze befindet sich ja unter solchen Verhältnissen — gefriert also nicht bei 0° C., wie reines Wasser, sondern erst bei tiefer liegenden Temperaturen. Der Gleichgewichtszustand zwischen den Wassertheilchen und den Salztheilchen oder den Theilchen der festen Körper wird erst bei Temperaturen unter 0° C. aufgehoben, so dass die Eisbildung erfolgen kann. Freilich wird nun bei der Eisbildung eine erhebliche Wärmemenge frei; indessen die Temperatur der Salzlösungen oder der mit Wasser durchtränkten festen Körper erhebt sich doch nicht ganz auf 0° C., da eine gewisse Wärmemenge verbraucht wird, um die Wassertheilchen beim Gefrieren von den Salztheilchen oder den Theilchen der festen Körper loszureissen.

47. Die Tödtung der Pflanzen durch zu hohe Temperaturen.

Als Untersuchungsobjecte dienen zunächst in kleinen Blumentöpfen zur Entwickelung gebrachte junge Pflanzen von Zea, Nicotiana, Cucurbita, Phaseolus oder Tropaeolum. Haben die Pflanzen einige Blätter entfaltet, so sind sie für die Experimente geeignet. Man bringt nun die Luft unter der Glocke eines Thermostaten auf diejenige Temperatur, deren Wirkung auf die Pflanzen studirt werden soll. Ist diese Temperatur constant geworden, so gelangt ein Untersuchungsobject in den Thermostaten. Man wartet, bis die Temperatur, deren Einfluss man untersuchen will, im Apparat wieder hergestellt ist, und überlässt die Pflanze dann dieser Temperatur gewisse Zeit lang. Ein Thermometer ist in die Erde, in welcher die Pflanze wurzelt, eingesenkt; ein zweites hängt unter der Glocke und berührt die oberirdischen Theile der Untersuchungsobjecte. Man kann die Versuche nun vielfältig variiren. Wir belassen eine der genannten Pflanzen z. B. eine halbe Stunde lang bei einer Lufttemperatur von 40 oder 45° C., oder wir setzen die Pflanzen im Apparat 10—30 Minuten lang einer Lufttemperatur von 52° C. aus. Darauf werden die Gewächse aus dem Thermostaten herausgenommen und normalen Lebensbedingungen ausgesetzt, um ihr weiteres Verhalten zu beobachten. Ein halbstündiges Verweilen in Luft von 40—45° C. ertragen die Pflanzen gewöhnlich ohne Nachtheil; ein 10—30 Minuten dauernder Aufenthalt in Luft von 52° C. tödtet sie aber in der Regel. Uebrigens ist zu beachten, dass die Pflanzen keineswegs sofort absterben, wenn sie zu hohen Temperaturen, z. B. 52° C. während zehn Minuten, ausgesetzt gewesen sind. Vielmehr tritt der Tod oft erst nach Tagen ein. Die eben fertig ausgebildeten Blätter werden allmählich missfarbig, während die älteren Blätter und Internodien, sowie auch die Knospen erst später absterben. Bei der Ausführung genauer vergleichender Untersuchungen über den Einfluss höherer Temperaturen auf Pflanzen ist es nothwendig, jedes Experiment bei bestimmter Tem-

peratur mehrfach zu wiederholen, und ebenso ist jeder Versuch mit einer noch nicht benutzten, also vollkommen normalen Pflanze anzustellen. Man schützt sich auf diese Weise vor Irrthümern. Lehrreich würde es auch sein, Pflanzen längere Zeit (mehrere Stunden oder gar Tage) bei relativ niederen Temperaturen (z. B. 35—40 ° C.) in Thermostaten zu belassen, um das nachträgliche Verhalten der Untersuchungsobjecte zu beobachten.

Während die Pflanzen ein 10 Minuten langes oder ein etwas längeres Verweilen in Luft von 52 ° C. nicht ohne nachtheilige Folgen ertragen, rufen schon Temperaturen von etwa 45—48 ° C., denen die Untersuchungsobjecte 10 Minuten lang ausgesetzt werden, den Tod derselben hervor, wenn das Medium nicht Luft, sondern Wasser ist. Um diese Thatsache zu demonstriren, taucht man die oberirdischen Theile in Töpfen cultivirter Pflanzen, nachdem man, um das Herausfallen der Erde aus den Töpfen zu verhindern, Sperrhölzer auf die Bodenoberfläche gelegt hat, in Wasser von der bezeichneten Temperatur. Diese wird während der Experimente constant erhalten, und nach Verlauf von 10 Minuten nimmt man die Pflanzen aus dem Wasser heraus, um ihr ferneres Verhalten zu beobachten.

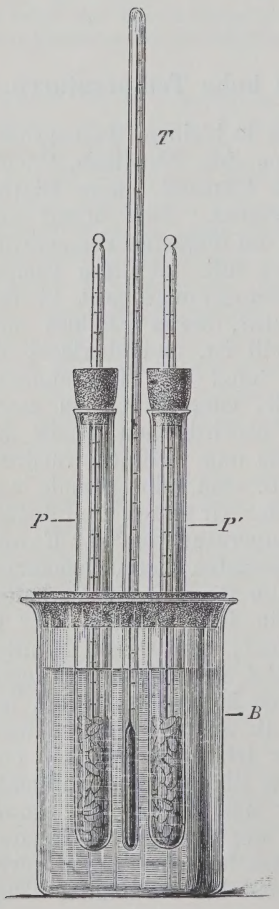


Fig. 37. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung höherer Temperaturen auf Samen.

Bei dem Studium über den Einfluss des Wassers von höherer Temperatur auf die Pflanzen kann man auch mit abgeschnittenen Pflanzentheilen, z. B. mit Blättern, experimentiren. Ich benutzte unter anderem zu solchen Versuchen Blätter von Begonia manicata und Vitis vinifera, die sehr geeignete Untersuchungsobjecte darstellen, weil sie in Folge des Todes der Zellen eine wesentliche Farbenänderung erfahren. Taucht man die Blätter von Begonia 15 Minuten lang in Wasser von 40 ° C., so sterben ihre Zellen nicht ab. In Wasser von 75 ° C. eingetaucht, verfärben sich die Blätter fast momentan und sind dann getödtet. Wasser von 55 ° C. tödtet die Blätter binnen zwei Minuten.

Um die wichtige Thatsache zu constatiren, dass Pflanzentheile, zumal Samen, höhere Temperaturen weit besser im trocknen als im mit Wasser durchtränkten Zustande überdauern, benutzt man den in Fig. 37 abgebildeten Apparat. Das Becherglas *B* ist mit Wasser angefüllt. Der das Glas verschliessende grosse Kork hat mehrere Bohrungen und durch die eine derselben ist das Thermometer *T* gesteckt, während die beiden anderen zur Aufnahme von Probirgläsern (*P* und *P'*) dienen. Die Mündungen dieser letzteren sind mit Korken verschlossen, in deren Bohrungen Thermometer eingeführt werden. Die ganze Vorrichtung hängt in einem Me-

tallringe und taucht in das Wasser eines Wasserbades ein. Man erwärmt nun mit einer Gas- oder Spiritusflamme, bis die Thermometer in den Probirgläsern diejenige Temperatur anzeigen, bei der man experimentiren will (z. B. 50, 60 oder 70 ° C.). Jetzt werden in das eine Probirglas lufttrockne, in das andere gequollene Samen gebracht, und zwar benutzt man z. B. je 50 bis 100 Samen von Pisum, Zea oder Triticum, um diese Untersuchungsobjecte einige Zeit lang (z. B. eine Stunde lang) der constant gehaltenen höheren Temperatur auszusetzen. Darauf werden die Samen in Sägespäne gelegt und normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt. Die lufttrocken erwärmten Samen keimen noch zum Theil; die im gequollenen Zustande erwärmten gehen aber sämmtlich zu Grunde und keimen nicht.

Lufttrockne Körner von Pisum, Zea oder Triticum kann man eine Stunde lang Temperaturen von 65 oder 70 ° C. exponiren, ohne dass sämmtliche Untersuchungsobjecte ihre Keimfähigkeit einbüssen; freilich wird dieselbe aber dadurch mehr oder minder geschwächt. Als ich lufttrockne Weizenkörner eine Stunde lang einer Temperatur von 62 ° C. ausgesetzt hatte, erwies sich nachträglich noch ein nicht unerheblicher Procentsatz der Untersuchungsobjecte keimfähig. Die gequollenen Weizenkörner, welche eine Stunde lang einer Temperatur von 62 ° C. ausgesetzt gewesen waren, gingen aber bei der Keimprobe sämmtlich zu Grunde [1]).

48. Die Veränderungen, welche Pflanzen in Folge der Tödtung durch zu hohe Temperaturen erfahren.

Man tauche ein junges Blatt aus der Knospe von Elodea canadensis, in dessen Zellen das Stattfinden lebhafter Protoplasmabewegung constatirt ist, kurze Zeit (etwa eine Minute lang) in Wasser von 50 ° C. In Folge des Einflusses der hohen Temperatur wird die Protoplasmabewegung sofort sistirt; sie kehrt auch nach längerer Zeit nicht wieder; das Untersuchungsobject geht in einen desorganisirten Zustand über und ist abgestorben.

Sehr zahlreiche Blätter (ich experimentirte z. B. mit Kohlblättern) erfahren, wenn man sie einige Zeit lang in Wasser von höherer Temperatur (z. B. 60 ° C.) bringt, keine wesentlichen Farbenveränderungen. Die Blätter sterben aber in dem warmen Wasser sehr schnell ab; die Zellen verlieren ihren Turgor, und die Pflanzentheile sind schlaff geworden. Sie können auch nicht wieder in den normalen turgescenten Zustand zurückgebracht werden. Wenn man Blätter, deren Zellen säurereich sind (ausgezeichnete Objecte sind nach meinen Erfahrungen die Blätter von Begonia manicata und Vitis vinifera) in heisses Wasser taucht, so werden dieselben schnell missfarbig, weil die Chlorophyllkörper in Folge der Vernichtung des Protoplasmas jetzt in Contact mit dem säurereichen Zellsaft gelangen, und die Säure das Chlorophyllpigment zersetzt. Legt man Begoniablätter in Wasser von 55 ° C., so

1) Literatur: Sachs, Flora, 1864, S. 5, und Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 64. Ferner vgl. Detmer, Vergleichende Physiologie d. Keimungsprocesses d. Samen, 1880, S. 401; Höhnel in den von Fr. Haberlandt herausgegebenen wissenschl.-prakt. Untersuchungen auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues, B. 2, S. 77, und Detmer, Botan. Zeitung, 1886, Nr. 30.

sind sie nach Verlauf von 2 Minuten missfarbig; in Contact mit Wasser von 75° C. verlieren sie fast momentan ihre grüne Farbe. Bei mikroskopischer Untersuchung von Flächenschnitten der getödteten Blätter von Begonia manicata ergiebt sich in der That, dass die Chlorophyllkörper nicht mehr grün, sondern bräunlich gefärbt sind.

Dass das Protoplasma bei dem durch zu hohe Temperaturen hervorgerufenen Absterben seine normale Beschaffenheit einbüsst und in Folge dessen die Säuren des Zellsaftes leicht diosmosiren lässt, kann man nach meinen Erfahrungen leicht in folgender Weise feststellen. Ein Stück vom Blattstiele eines lebendigen Blattes von Begonia manicata wird in destillirtes Wasser gelegt. Ein zweites Stück desselben Blattstieles tödtet man durch Einlegen in Wasser von 60° C. Ist das Blattstielstück missfarbig geworden, so überträgt man es schnell in destillirtes Wasser. Zu diesem Wasser und ebenso zu demjenigen, in welchem das lebende Blattstück verweilt, fügt man alsbald, nachdem man die Blattstücke entfernt hat, etwas Chlorcalciumlösung hinzu. Die eine Flüssigkeit bleibt klar, die andere, in der das getödtete Blattstück lag, trübt sich in Folge der Abscheidung von oxalsaurem Kalk. Das zerstörte Protoplasma ist permeabel für die Oxalsäure des Zellsaftes geworden und hat dieselbe nach aussen in das umgebende Wasser austreten lassen.

Werden Haare von den Staubfäden einer Tradescantia durch Eintauchen in Wasser von 55 oder 60° C. getödtet, dann in einen Wassertropfen auf den Objectträger gebracht und ihr Verhalten beobachtet, so zeigt sich, dass der rothe oder violette Farbstoff des Zellsaftes in den Zwischenraum zwischen Protoplasma und Zellhaut übergeht und schliesslich aus den Zellen in das umgebende Wasser gelangt. Das gesunde Protoplasma ist impermeabel für den Farbstoff. Wenn man Stücke frischer rother Rüben zunächst sorgfältig abspült, um den aus den angeschnittenen Zellen hervortretenden Saft zu beseitigen, und dann in Wasser legt, so geben sie selbst bei stundenlangem Verweilen in der Flüssigkeit keinen Farbstoff an dieselbe ab. Sind die Zellen der rothen Rüben aber durch den Einfluss höherer Temperatur getödtet, so lassen sie ihren Farbstoff, in Wasser von gewöhnlicher Temperatur gelegt, schnell austreten. Legt man einerseits durch Eintauchen in Wasser von 60° C. getödtete, andererseits aus lebenden Zellen bestehende Stücke weisser Rüben in den Saft rother Rüben, so dringt der Farbstoff binnen 24 Stunden nicht in die letzteren ein, während sich die ersteren durch und durch roth färben. Vergl. auch unter 55, wo die merkwürdigen Eigenschaften der Hautschicht des Protoplasmas näher besprochen worden sind.

49. Die Vernichtung der Molekularstructur durch mechanische Eingriffe.

Wenn es auch allbekannt ist, dass Pflanzentheile schwachen Druck oder schwache Zerrung ohne Nachtheil ertragen, wohl aber eine Zerstörung ihrer Molekularstructur unter dem Einflusse energischer mechanischer Eingriffe erfahren, so mögen dennoch einige nicht ganz unwichtige Experimente angeführt werden, deren Resultate die letztere Thatsache deutlich hervortreten lassen.

Etwas Kartoffelstärke wird mit Wasser von 15—20° C. übergossen.

Eine gleiche Menge der Stärke wird mit Wasser übergossen, nachdem man sie in einem Mörser mit reinem Quarzsand möglichst vollkommen verrieben hat. Nach einigen Stunden filtrirt man die Flüssigkeiten ab und kann nun in der einen mit Hülfe von Jod keine Granulose nachweisen, während das Wasser der mit Sand verriebenen Stärke Granulose entzogen hat. Der mechanische Eingriff führt zu einer Zerstörung der Molekularstructur der Amylumkörner, und diese geben daher Granulose an die Flüssigkeit ab, während die unversehrten Stärkekörner dies nicht vermögen.

Wenn man das Gewebe der Spreite des Blattes von Begonia manicata heftig zwischen den Fingern zusammenpresst, so nimmt dasselbe an der gedrückten Stelle alsbald eine bräunliche Färbung an. Die mikroskopische Untersuchung von Flächenschnitten von der gedrückten Stelle lehrt, dass die Chlorophyllkörper in den Zellen missfarbig geworden sind, während sie im normalen Zustande schön grün erscheinen. Durch den Druck ist eine Zerstörung der protoplasmatischen Zellenbestandtheile herbeigeführt worden. Dieselben sind permeabel für den sauren Zellsaft geworden, und dieser hat zersetzend auf das Chlorophyllpigment eingewirkt[1]).

50. Die Wirkung des Austrocknens auf Pflanzentheile.

Werden krautige Sprosse abgeschnitten und führt man ihnen nunmehr kein Wasser zu, so gehen sie alsbald in den welken Zustand über. Wenn derselbe weit vorgeschritten ist, so kann man die Sprosse durch Wasserzufuhr nicht aufs Neue in den normalen Zustand überführen, dagegen erholen sich eben angewelkte Sprosse oft wieder, wenn man ihnen reichlichere Wassermengen zur Verfügung stellt.

Um den Einfluss kennen zu lernen, den das Austrocknen auf Samen sowie Keimpflanzen ausübt, verwende man Weizen- oder Erbsensamen. Das Material wird theils nach 24stündigem Quellen, theils nachdem die Würzelchen soeben hervorgebrochen sind oder sich mehr oder minder weit entwickelt haben, in Glasschalen gebracht und dem austrocknenden Einflusse der Luft ausgesetzt. Sind die Samen oder Keimpflanzen lufttrocken geworden, so legt man sie in feuchtes Sägemehl und beobachtet ihr Verhalten. Die angequollenen Samen werden durch das Austrocknen wenig gelitten haben; ebenso diejenigen Untersuchungsobjecte, deren Wurzeln nur einen sehr geringen Grad der Entwickelung erfahren hatten. Der Einfluss der Austrocknung auf etwas weiter ausgebildete Keimpflanzen macht sich darin geltend, dass die jungen Keimtheile freilich absterben, aber bei erneuter Wasserzufuhr wieder durch Bildung von Adventivwurzeln und Entwickelung vorhandener Achselknospen ersetzt werden, während noch weiter ausgebildete Keimpflanzen durch das Austrocknen gewöhnlich völlig zu Grunde gehen[2]).

Ueber die Frage, wie sich mehr oder minder weit ausgetrocknete, aber freilich noch immer ziemlich wasserreiche Keimpflanzen im Vergleich zu den normalen Untersuchungsobjecten bezüglich ihrer Athmungs-

---

1) Vgl. Detmer, Botanische Zeitung, 1886, Nr. 30.

2) Vgl. Nowoczck in Haberlandt's wissenschl.-prakt. Unters. auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues, H. 1, S. 122.

energie verhalten, stellte ich eine Reihe von Beobachtungen an[1]). Etwa 30 Erbsenkeimpflanzen werden nach der im dritten Abschnitt angegebenen Methode auf ihre Athmung untersucht. Man bestimmt die Kohlensäuremenge, welche die Keimpflanzen in 2 oder 3 Stunden bei constanter Temperatur aushauchen. Dann wird den Versuchsobjecten einige Tage lang kein Wasser dargeboten und das mehr oder minder ausgetrocknete Material wieder bei derselben Temperatur wie früher auf seine Athmungsenergie geprüft. Dieselbe ist jetzt erheblich gesunken. Lufttrockene Samen geben nach meinen Beobachtungen keine nachweisbaren Kohlensäuremengen aus.

51. Die Einwirkung der Elektricität auf Pflanzen.

Ueber die Einwirkung der Elektricität auf Pflanzen ist, namentlich soweit es sich dabei um das feinere Detail handelt, noch relativ wenig bekannt[2]). Von physiologischem Interesse erscheint zumal die Thatsache, dass constante Ströme sowie Inductionsströme nicht ohne Einfluss auf die Protoplasmabewegungen sind, indem sie den Verlauf derselben meistens verlangsamen oder die Bewegungen völlig aufheben und schliesslich den Tod der Zellen herbeiführen.

Um die in Frage kommenden Phänomene zu studiren, verwende man junge Blätter von Elodea oder Haare von den jüngeren Theilen einer Kürbispflanze. Die Untersuchungsobjecte werden im Wassertropfen unter Deckglas der mikroskopischen Beobachtung unterzogen, und die Objectträger haben die in Fig. 38 dargestellte Form. Ich lernte diese Objectträger zuerst bei meinem Collegen Frommann kennen. Auf der Glasplatte *G* sind zwei Messingplatten *M*, *M* mit Asphaltlack (Auflösung von Asphalt in Terpentinöl) festgekittet. An jeder Messingplatte ist eine Klemmschraube *K* festgelöthet. Die beiden Staniolblättchen *St*, *St* werden mit Hülfe von Asphaltlack auf den Messingplatten und der Glasplatte befestigt; sie lassen einen Zwischenraum zwischen sich, der dem Wassertropfen, in welchem sich das Untersuchungsobject befindet, Raum gewährt. Will man die Einwirkung von Inductionsströmen auf die Pflanzenzellen studiren, so schraubt man die Enden der vom Inductionsapparat kommenden Drähte am Objectträger fest und kann nun die mikroskopischen Beobachtungen anstellen, während die Ströme ihren Einfluss auf die Zellen geltend machen. Es ist bei physiologischen Untersuchungen wichtig, die Stärke der Ströme reguliren zu können, und daher verwende man Inductionsapparate, wie sie für medicinische Zwecke von den Mechanikern geliefert werden. Diese Apparate sind gewöhnlich sammt dem stromerregenden Elemente in einem geeigneten Kasten angebracht. Die Regulirung der Stromstärke kann

Fig. 38. Objectträger zur Untersuchung der Einwirkung elektrischer Ströme auf Pflanzentheile.

1) Vgl. Detmer, Landwirthschl. Jahrbücher, B. 11, S. 230.

2) Literaturzusammenstellungen vergl. an verschiedenen Orten in Pfeffer's Handbuch der Pflanzenphysiologie.

auch mittelst des Schlittenapparats von Du Bois Reymond[1]) vorgenommen werden, bei dessen Benutzung man die Drahtenden der Hauptspirale mit dem Elektromotor und dem Rheotom verbindet, während von der Nebenspirale aus die Verbindung mit den Klemmschrauben des Objectträgers hergestellt wird. Bei Versuchen mit den Blättern von Elodea canadensis fand ich, dass schwächere Inductionsströme die Protoplasmabewegung in den Zellen sistirten; nach Aufhebung des Stromes stellte sich dieselbe allmählich wieder ein. Stärkere Inductionsströme sistirten die Protoplasmabewegung in einer Zelle für immer. Da stärkere Ströme die Zellen tödten, und der abgestorbene Zustand des Protoplasmas leicht daran kenntlich ist, dass dasselbe permeabel für manche Stoffe (z. B. Farbstoffe) wird, die es im lebenden Zustande nicht durchlässt, so würde es instructiv sein, auf Haare der Staubfäden von Tradescantia elektrische Ströme einwirken zu lassen. Das Absterben der Zellen müsste sich leicht an dem Farbstoffaustritt aus dem Zellsaft, resp. aus den Zellen feststellen lassen. Bei Untersuchungen über den Einfluss elektrischer Ströme auf Pflanzenzellen achte man auch auf die Formänderungen, welche das Protoplasma unter der Einwirkung der Ströme erleidet.

Lehrreich ist es ferner, das folgende Experiment auszuführen[2]). Man legt zwei Blattstücke von Begonia manicata, die einige Ctm. Länge besitzen, auf eine Glasplatte. Durch das eine Blattstück schickt man nun etwa 15 Minuten lang einen nicht zu schwachen Inductionsstrom, indem man die Elektroden (kleine Metallstücke) den beiden Enden des Blattstreifens auflegt. Das zweite Blattstück dient nur als Vergleichsobject. Nach der angegebenen Zeit gelangen beide Blattstreifen in ein verschlossenes Glas. Der nicht elektrisirte Pflanzentheil bleibt grün und frisch; der elektrisirte bräunt sich alsbald, verliert seinen Turgor und wird schlaff, weil der Inductionsstrom das Protoplasma seiner Zellen getödtet hat.

52. Die Einwirkung von Giften auf die Pflanzen.

Bei Untersuchungen über die Frage, ob diese oder jene Stoffe sich den Pflanzenzellen gegenüber giftig verhalten, benutzt man zweckmässig Samen. Freilich ist immer zu beachten, dass ein Stoff, wenn er das Leben einer Pflanzenart schädigt oder vernichtet, darum noch nicht als Gift für alle Gewächse angesehen werden darf. Handelt es sich z. B. darum, die Wirkung des Sublimats, des Kupfervitriols, der Salicylsäure, der Karbolsäure, der Citronensäure, des Atropins, des salzsauren Chinins, des Kochsalzes etc. auf Pflanzen zu prüfen, so stellt man sich 0,1-, 0,2-, 0,5-, 1,0procentige oder verdünntere, resp. concentrirtere Lösungen dieser Stoffe her, bringt dieselben in kleine Gläser und legt eine nicht zu kleine Anzahl Erbsensamen oder Weizenkörner in die Flüssigkeiten. Nach 24 Stunden werden die gequollenen Untersuchungsobjecte auf flachen Schalen mit etwas Wasser in Contact gebracht oder in feuchtes Sägemehl gelegt. Man stellt nun fest, wie viele Samen in bestimmter Zeit keimen, und welche Länge die Keimtheile im Vergleich

1) Abbildung vgl. in Müller's Lehrbuch d. Physik und Meteorologie, 8. Auflage, herausgegeben v. Pfaundler, B. 3, S. 628.

2) Vgl. Detmer, Botan. Zeitung, 1886, Nr. 30.

zu denjenigen solcher Keimpflanzen erreichen, die sich von Anfang an unter durchaus normalen Verhältnissen entwickelten. So fand ich z. B., dass 0,1procentige Salicylsäurelösungen schon äusserst giftig auf Erbsen einwirkten[1]).

Man cultivire ferner Keimpflanzen von Pisum in flachen Schalen, indem man dafür sorgt, dass die Cotyledonen stets bis etwa zur Hälfte vom Wasser bedeckt sind. Nach einigen Tagen bestimmt man die Länge der Wurzel- sowie Stengeltheile der Keimlinge, ersetzt das Wasser durch Lösungen verschiedener Stoffe von bekannter Concentration und lässt die Keimpflanzen 24 Stunden lang mit der Flüssigkeit in Contact. Dann misst man die Länge der Keimtheile wieder, bringt die Untersuchungsobjecte aufs Neue mit reinem Wasser in Berührung und ermittelt, ob Wachsthum derselben eintritt oder nicht. Nach meinen Erfahrungen heben manche Gifte das Wachsthum der Keimpflanzen für immer auf; andere sistiren dasselbe freilich auch, aber die Untersuchungsobjecte beginnen doch ihre Entwicklung wieder, wenn sie nachträglich mit destillirtem Wasser in Berührung gebracht werden.

Ich habe ferner gequollene Samen von Pisum sativum auf flachen Glasschalen mit etwas Wasser in Berührung gebracht und, nachdem noch ein Glas mit Chloroform neben der Schale aufgestellt worden war, das Ganze mit einer Glasglocke bedeckt. Bei nicht zu niederer Temperatur (18° C.) keimte kein Same[2]). Die giftige Wirkung des Chloroforms auf Pflanzenzellen kann man auch leicht in Vorlesungen demonstriren, wenn man in eine flache Schale Chloroform giesst und diese sowie ein Blatt von Begonia manicata, das mit seinem Stiel in Wasser eintaucht, unter eine Glasglocke stellt. (Vgl. Fig. 39.) Die Blattzellen sterben alsbald ab. Das Blatt wird missfarbig, indem die zu Grunde gehenden Protoplasmamassen für die Säure des Zellsaftes permeabel werden, so dass eine Zersetzung des Chlorophyllfarbstoffes erfolgen kann[3]).

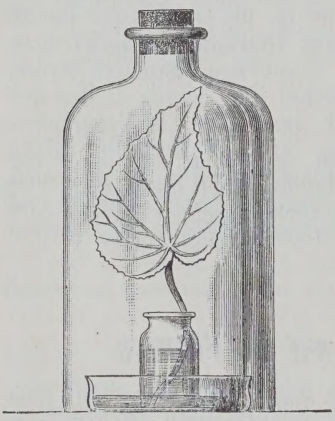


Fig. 39. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung des Chloroforms auf Pflanzentheile.

Will man untersuchen, ob bestimmte Stoffe die Entwickelung von Penicillium oder von Bakterien beeinträchtigen oder völlig aufheben, so stellt man die Culturen in derselben Weise an, wie es unter 32 und 35 angegeben ist, nur mit dem Unterschiede, dass den Nährlösungen bestimmte Mengen derjenigen Körper (z. B. Salicylsäure, Sublimat etc.) zugesetzt werden, deren Wirkung auf die Pflanzen geprüft werden soll. Controlversuche ohne Zusatz der Gifte zu den Nährlösungen sind natürlich nicht zu unterlassen.

So habe ich z. B. Pasteur'sche Nährlösung, die Rohrzucker ent-

1) Vgl. Detmer, Landwirthschl. Jahrbücher, B. 10, S. 733.

2) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, B. 5, S. 253.

3) Vgl. Detmer, Botanische Zeitung, 1886, Nr. 30.

hielt, (vgl. über Darstellung der Lösung unter 17) einmal ohne weiteren Zusatz und in einem anderen Falle mit einem Zusatz von 0,2 % Salicylsäure 8 Tage lang sich selbst überlassen. Die letztere Flüssigkeit war nach Verlauf dieser Zeit noch klar; in der ersteren hatte sich eine bedeutende Bakterienvegetation entwickelt, und sie erschien daher sehr trübe.

III. Elementare Molekularvorgänge in den Pflanzen.

53. Der Imbibitionsprocess.

Wir stellen einen zarten Querschnitt aus dem Stengel einer jungen Laminaria her. Bei mikroskopischer Untersuchung des in Alkohol liegenden Objects ist wenig von den Structurverhältnissen zu sehen. Dieselben treten aber auf Wasserzusatz deutlich hervor. Wir unterscheiden die Aussenrinde, deren Zellen braune Membranen besitzen, die sogen. Innenrinde, welche die Hauptmasse des Gewebes bildet, und deren Zellmembranen farblos sind. In der Mitte des Querschnitts sehen wir das aus schlauchförmigen Zellen bestehende Markgewebe. Wenn man zu den in Alkohol liegenden Laminariastücken Wasser treten lässt, so kann man durch mikroskopische Beobachtung feststellen, dass das Beobachtungsmaterial im Moment der Wasseraufnahme eine bedeutende Volumenzunahme erfährt. Ebenso kann man sich von dieser letzteren überzeugen, wenn man einerseits die Dimensionsverhältnisse trockner, andererseits diejenigen der nämlichen mit Wasser durchtränkten Stücke von Laminariastielen durch Messung mit dem Millimetermaassstab ermittelt. Die Laminariasubstanz ist also quellungsfähig, und der Vorgang, durch den die Quellung zu Stande kommt, wird als Imbibition bezeichnet. Die Volumenzunahme, respect. Quellung der sich mit Wasser in Contact befindenden Laminariastücke geht aber nicht bis ins Unendliche weiter, sondern sie ist eine begrenzte, und dieser Umstand ist von besonderer Wichtigkeit, denn derselbe lehrt, dass ein Laminariastück, dem sich die organisirten pflanzlichen Gebilde überhaupt ähnlich verhalten, in Contact mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur ganz andere Erscheinungen zeigt, wie z. B. Gummi.

Wird ein Stück Laminarialaub, dessen Gewicht im trockenen Zustande bekannt ist, in Wasser gelegt und nach Verlauf bestimmter Zeitintervalle (z. B. alle 8 Minuten) aus der Flüssigkeit herausgenommen, mit Fliesspapier abgetrocknet und gewogen, so ergiebt sich, dass die Wasseraufnahme seitens des Pflanzentheils in der Zeiteinheit zunächst eine rapide ist, allmählich eine Verlangsamung erfährt und schliesslich aufhört. Hängt man das mit Wasser imbibirte Stück Laminarialaub mittelst eines Platindrahts an der freien Luft auf und bestimmt ab und zu (vielleicht alle halbe Stunde) das Gewicht des Untersuchungsobjects, so findet man, dass in der Zeiteinheit zunächst viel, später immer weniger Wasser verdunstet.

Einige geschälte Erbsensamen werden in Wasser von etwa 5° C. gelegt. Ferner legt man geschälte Erbsensamen, die möglichst genau dasselbe Gewicht wie die ersteren besitzen, in Wasser von etwa 20° C.

Nach Verlauf von 4 Stunden werden die abgetrockneten Samen wieder gewogen. Es ergiebt sich, dass die Samen bei der höheren Temperatur mehr Wasser als bei niederer Temperatur aufgenommen haben; höhere Temperatur beschleunigt also den Verlauf der Quellung. Wenn man gleiche Mengen geschälter Erbsen einerseits in Wasser, andererseits in eine 10- oder 20procentige Kochsalzlösung legt, so lässt sich leicht durch nach Verlauf von einigen Stunden vorgenommene Wägungen feststellen, dass die Quellung in Salzlösungen nicht so schnell wie in reinem Wasser vor sich geht.

Will man Untersuchungen über die Volumenzunahme anstellen, welche Samen oder Holzwürfel von verschiedenen Pflanzen bei der Quellung erfahren, so bringt man die Untersuchungsobjecte zunächst im trockenen Zustande in einen schmalen Glascylinder, dessen Volumen bis zu einer am oberen Theile befindlichen Marke genau bekannt ist. Man lässt nun verdünnten Alkohol aus einer Bürette bis zur Marke in den Cylinder einfliessen und kann unter Berücksichtigung der Menge der erforderlichen Flüssigkeit dann leicht das Volumen der Pflanzentheile berechnen. Bei der Volumenbestimmung der gequollenen Samen oder Hölzer benutzt man nicht verdünnten Alkohol, sondern Wasser. Bei vergleichenden Untersuchungen über die Gewichts- und Volumenzunahme, welche Pflanzentheile bei der Quellung erfahren, wird man oft, zumal bei Experimenten mit Hölzern, constatiren können, dass die factische Volumenzunahme der Untersuchungsobjecte keineswegs dem Volumen der aufgenommenen Wassermenge entspricht. Diese Thatsache ist auch durchaus verständlich, wenn man bedenkt, dass die Volumenzunahme quellenden Holzes nur durch die Imbibition der festen Holzsubstanz mit Wasser zu Stande kommt, während die Füllung der Lumina der Holzelemente mit Flüssigkeit keine Volumenzunahme des Untersuchungsmaterials zur Folge haben kann. Die Experimente, bei denen man gleichzeitig die Gewichts- und Volumenzunahme ein und desselben Holzstücks bei der Quellung feststellt, sind insofern besonders lehrreich, als sie keinen Zweifel darüber bestehen lassen, dass die Imbibition keineswegs mit der Capillarität verglichen werden kann. Wenn Flüssigkeiten in Capillaren übergehen, so dringen sie immer in präformirte Hohlräume ein; die Capillarität ruft also keine Volumenzunahme der Flüssigkeit aufnehmenden Massen hervor. Beim Zustandekommen der Imbibition dringen die Flüssigkeitsmoleküle zwischen die Micellen der quellenden Körper ein; sie schaffen sich dabei selbst erst Raum zwischen den Micellen, und dadurch wird eben die Volumenzunahme quellender Substanzen herbeigeführt.

Quellendes Holz dehnt sich in der Richtung des Radius und des Umfanges weit stärker aus als in der Richtung der Axe. Wenn man die Dimensionsverhältnisse ziemlich grosser walzenförmiger Holzstücke einerseits im trockenen, andererseits im gequollenen Zustande mit Hülfe eines Millimetermaassstabes feststellt, so kann man diese Thatsache leicht constatiren. Man benutze zu diesen Versuchen etwa 100 Mm. lange und 80 Mm. Durchmesser besitzende Holzstücke.

Sehr energische Quellungserscheinungen, die schliesslich mit der Zerstörung der Molekularstructur endigen, kann man z. B. an Stärkekörnern durch höhere Temperatur, Säuren, sowie Alkalien hervorrufen. Wird Kartoffelstärke auf dem Objectträger unter Ersatz des verdunstenden Wassers vorsichtig über einer Spiritus- oder Gasflamme erhitzt, so tritt eine sehr bedeutende Volumenzunahme der Körner ein, und bei etwa

70° C. sind sie zu glashellen Massen, deren Begrenzung schwer zu erkennen ist, verquollen.

Lässt man zu Kartoffelstärke, die auf dem Objectträger in Wasser liegt, vom Deckglasrande aus Kalilauge oder Schwefelsäure treten, und sorgt man dafür, dass die Reagentien ihren Einfluss sehr allmählich auf das Untersuchungsobject geltend machen, so sieht man die Schichtung der Körner bei beginnender Einwirkung deutlicher hervortreten, dann aber schwinden die Schichtungserscheinungen, die Körner erfahren eine bedeutende Volumenzunahme und verquellen endlich zu glashellen Massen. Dringen Wassertheilchen in imbibitionsfähige Körper ein, so muss nothwendiger Weise in Folge der energischen Anziehungskraft, welche von Seiten der Micellen auf die Flüssigkeit ausgeübt wird, eine Verdichtung derselben eintreten. Wenn aber solche Verdichtungsprocesse zu Stande kommen, so wird dabei Wärme frei, und in der That lässt sich zeigen, dass der Vorgang der Imbibition mit Wärmebildung verbunden ist. Ich habe 100 Grm. Kartoffelstärke oder 100 Grm. Erbsenmehl von bekannter Temperatur in Glascylindern mit relativ wenig Wasser von genau der nämlichen Temperatur übergossen. Die Temperatur der Gemische stieg sofort um etwa 1,5° C. Die Temperatursteigerung betrug aber, wie ich fand, 5° C., wenn die Kartoffelstärke, nachdem sie zuvor durch Erwärmen ausgetrocknet worden war und sich wieder abgekühlt hatte, mit wenig Wasser vermischt wurde.

Bei dem Vorgange der Imbibition wird aber auch Arbeit geleistet, und zwar innere, (welche die Micellen von einander entfernt) sowie äussere (durch welche äussere Widerstände, die sich der Volumenzunahme des quellenden Körpers entgegenstellen, überwunden werden können). Um in der Vorlesung über Pflanzenphysiologie zu demonstriren, dass bei der Quellung äussere Arbeit geleistet wird, benutze ich den in Fig. 40 dargestellten Apparat. In das Glas *G* bringt man einen Holzwürfel *H*, so dass die Querschnittflächen desselben senkrecht gerichtet sind. Auf den Holzwürfel wird dann ein Eisenstück *E* von bekanntem Gewicht gelegt, und an demselben mit Hülfe von Siegellack der Draht *D* befestigt. Ein Millimetermaassstab *M* ist neben der beschriebenen Vorrichtung senkrecht aufgestellt. Füllt man das Glas *G* mit Wasser an, so wird das Eisenstück in Folge der Quellung des Holzes gehoben, und die Lage der Drahtspitze zur Millimeterscala wird, wie man leicht beobachten kann, allmählich mehr und mehr verändert [1]).

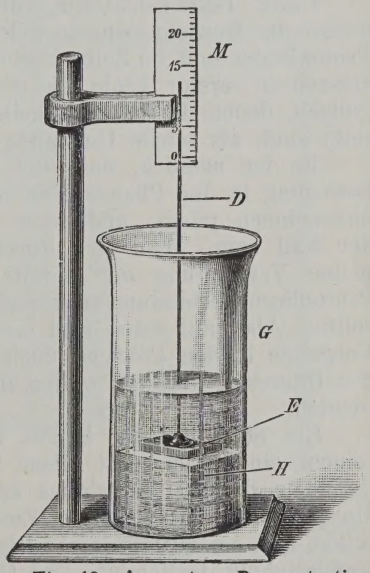


Fig. 40. Apparat zur Demonstration der Thatsache, dass bei der Quellung äussere Arbeit geleistet wird.

1) Literatur: Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 431; Detmer, Vergl. Physiologie d. Keimungsprocesses d. Samen, 1880, S. 78 u. 290; Reinke in d. v. Hanstein herausgegebenen botanischen Abhandlungen, B. 4, Heft 1.

54. Die Diffusion und die Endosmose.

Wenn gelöste Stoffe an irgend einer Stelle im Protoplasma oder im Zellsafte einer Zelle auftreten, so können sie sich von hier aus über das gesammte Protoplasma und über den gesammten Zellsaft verbreiten. Bei diesem Vorgange spielen die bekannten Diffusionsprocesse eine wichtige Rolle, aber es ist sicher lehrreich, sich davon zu überzeugen, dass die Geschwindigkeit der Diffusion keineswegs immer eine so erhebliche ist, wie man häufig anzunehmen pflegt. Man stellt einen hohen, mit Wasser angefüllten Glascylinder auf einem zitterfreien Tische auf, wirft ein Stück doppelt-chromsauren Kalis in das Wasser und bedeckt die Mündung des Cylinders mit einer Glasplatte. Das doppelt-chromsaure Kali löst sich auf, aber selbst nach mehreren Tagen sind die oberen Flüssigkeitsschichten nur schwach gelb gefärbt, während die unteren die charakteristische Farbe einer concentrirten Lösung des benutzten Salzes erkennen lassen. Bei der Ausführung unseres Experimentes sind keineswegs alle Bedingungen, welche Veranlassung zur Entstehung von Strömungen in der Flüssigkeit geben können, ausgeschlossen; um so deutlicher tritt die Thatsache hervor, dass die Verbreitung gelöster Stoffe durch Diffusion nicht mit besonderer Geschwindigkeit vor sich geht.

Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses gewinnen solche Momente an Gewicht, durch welche die Ausbreitung gelöster Stoffe im Protoplasma und im Zellsaft eine Beschleunigung erfahren kann, und es müssen in erster Linie die Protoplasmaströmungen sowie die Bewegungen, denen die Pflanzentheile durch den Einfluss des Windes ausgesetzt sind, als solche Umstände angesehen werden.

Es ist möglich, dass die Diffusion gelöster Körper bei der Stoffbewegung in der Pflanze eine weit grössere Rolle spielt, als man heute anzunehmen pflegt, und zwar würde dies, wie leicht einzusehen ist, der Fall sein, wenn sich durch weitere Forschungen eine sehr allgemeine Verbreitung der bereits in einigen Fällen sicher constatirten Protoplasmaverbindungen zwischen benachbarten Zellen herausstellen sollte. Aber auf jeden Fall beanspruchen mit Rücksicht auf zahlreiche Vorgänge in den Pflanzen auch die osmotischen Processe hervorragendes Interesse, und wir wollen ihnen daher unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Ein etwa 8 Ctm. langes und 3 Ctm. weites Glasrohr wird an seinem einen Ende mit einem Stück Schweinsblase verschlossen. Ein durchaus dichter Verschluss kann leicht erreicht werden, wenn man die Membran im feuchten Zustande über das Ende des Glasrohres bringt und sie mittelst eines Bindfadens oder besser noch mittelst einer Gummischnur festbindet. Das Glasrohr wird nun mit fast concentrirter Rohrzuckerlösung völlig angefüllt und sein oberes Ende mit Hülfe eines durchbohrten Kautschukkorkes verschlossen, in dessen Bohrung ein langes Glasrohr (Steigrohr) eingeführt worden ist. Markirt man den Stand der Rohrzuckerlösung in dem Steigrohr und taucht man den unteren Theil des Apparates in destillirtes Wasser ein, so findet man, dass die Flüssigkeit im Steigrohre alsbald im Steigen begriffen ist. Das Wasser tritt auf osmotischem Wege durch die Schweinsblase in die Zuckerlösung über, und wenngleich auch eine gewisse Menge dieser letzteren umgekehrt in das Wasser übergeht, so ist doch die in den Apparat

einströmende Flüssigkeitsquantität grösser als die ausströmende; dadurch muss eine Volumenzunahme der Flüssigkeit im Apparat erfolgen. Wird unsere Vorrichtung mit ihrem unteren Ende bestimmte Zeit lang (1—2 Stunden) abwechselnd in Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur und in warmes Wasser (z. B. solches von 30° C.) eingetaucht, so kann man durch Feststellung der Erhebung der Flüssigkeit im Steigrohr unter den verschiedenen Bedingungen leicht constatiren, dass die osmotischen Processe bei höherer Temperatur schneller als bei niederer vor sich gehen. Eine Verlangsamung der osmotischen Processe macht sich aber geltend, wie ohne Schwierigkeit zu ermitteln ist, wenn der untere Theil unseres Apparats sich nicht mit reinem Wasser, sondern z. B. mit einer 20-procentigen Kochsalzlösung in Berührung befindet[1]).

Für die richtige Beurtheilung zahlreicher physiologischer Erscheinungen, zumal solcher, welche durch den Turgor bedingt werden, ist es von grosser Bedeutung, sich davon zu überzeugen, dass durch osmotische Processe bedeutende Druckwirkungen erzielt werden können. Man construire sich z. B. den in Figur 41 abgebildeten Apparat. Das 10 Ctm. lange und 2 Ctm. weite Glasrohr *G* ist an seinem unteren Ende, mit welchem es in Wasser eintaucht, mit Schweinsblase verschlossen. Durch die Bohrung des das obere Ende des Glasrohres verschliessenden Kautschukkorkes wird das *t*-förmige Rohr *T* eingeführt, dessen verticaler Arm bei *a* mit einem kleinen bei *b* zu einer Spitze ausgezogenen Glasrohr in Verbindung steht. Der horizontale Arm des *t*-förmigen Rohres wird dagegen mittelst eines dickwandigen Kautschukschlauches, den man noch mit Draht umwickelt, mit dem Manometer *M* verbunden. In diesem letzteren befindet sich Quecksilber; der übrige Theil des Apparates wird völlig mit fast concentrirter Rohrzuckerlösung angefüllt und die bei *b* befindliche Spitze des kleinen Glasrohres schliesslich zugeschmolzen. Die Rohrzuckerlösung zieht bedeutende Wassermengen auf osmotischem Wege an. Dadurch entsteht ein Druck im Apparat,

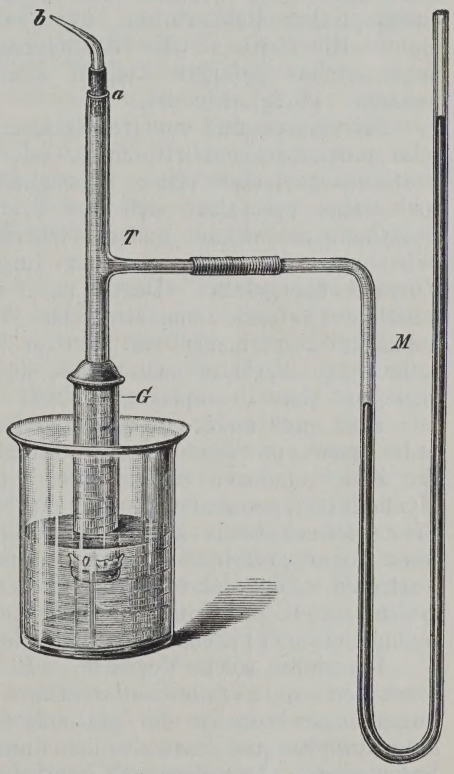


Fig. 41. Apparat zum Nachweis der durch osmotische Processe erzeugten Druckwirkungen.

1) Vgl. Detmer, Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks, in Preyer's Sammlung physiologischer Abhandlungen, B. I, H. 8, S. 29, Jena, 1877.

der das Quecksilber im Manometer zum Steigen bringt, und ich fand z. B., dass bei einem Experiment nach Verlauf von drei Tagen das Quecksilber in dem einen Schenkel des Manometers 47 Ctm. höher als im anderen stand. Der Druck im Apparat betrug also erheblich mehr als eine halbe Atmosphäre.

55. Die diosmotischen Eigenschaften der Zellhaut und des Protoplasmas.

Ein ausgezeichnetes Object zur Feststellung der diosmotischen Eigenschaften der Zellhaut sowie des Hyaloplasmas bietet sich uns in den Staubfadenhaaren von Tradescantia dar. Man kann die Haare leicht mit Hülfe einer Pincette vom Filament abtrennen und findet bei mikroskopischer Beobachtung, dass jedes Haar aus einer Zellreihe besteht. Die Zellhaut, das Protoplasma, der Zellkern und endlich der schön violett gefärbte Zellsaft sind an jeder Zelle leicht wahrzunehmen. (Vergl. Fig. 31.)

Wir lassen nun vom Deckglasrande aus Glycerin oder auch mehr oder minder concentrirte Zucker- oder Kochsalzlösungen zu den Tradescantiahaaren treten. Diese Flüssigkeiten entziehen dem Zellsaft Wasser, und daher contrahirt sich das Protoplasma, so dass Zwischenräume zwischen der Zellhaut und der Oberfläche des Plasmakörpers entstehen. Wir haben die Zellen aus dem turgescirenden in den plasmolytischen Zustand übergeführt. Durch unser Experiment ist aber ferner die wichtige Thatsache constatirt, dass das Hyaloplasma des lebenden Protoplasmas impermeabel für den im Zellsaft der Tradescantiahaarzellen aufgelösten Farbstoff sein muss, da dieser nach erfolgter Plasmolyse nicht aus dem Protoplasma austritt.

Eine ganz andere Erscheinung beobachten wir, wenn wir auf Staubfadenhaare von Tradescantia absoluten Alkohol einwirken lassen und die Zellen dadurch tödten. Der violette Zellsaft geht nun, da das Hyaloplasma permeabel für den Farbstoff geworden ist, in das Plasma über. Dieses sowie zumal der Zellkern färben sich intensiv, und es kann sogar gefärbte Flüssigkeit aus den Zellen in deren Umgebung austreten. Sehr lehrreich ist es ferner, auf Zellen mit ungefärbtem Zellsaft, z. B. auf Epidermiszellen von Tradescantiablättern, Plasmolyse bedingende und Farbstoffe enthaltende Flüssigkeiten einwirken zu lassen.

Ich stellte solche Versuche z. B. in folgender Weise an. Epidermisstückchen von Tradescantiablättern wurden durch Kochsalzlösung in angegebener Weise in den plasmolytischen Zustand versetzt und dann in den durch Zerquetschen ziemlich dunkel gefärbter Kirschen gewonnenen Saft gelegt. Der Farbstoff kann die Zellhaut passiren, er dringt in den Zwischenraum zwischen dieser und dem Plasma ein, aber das Plasma selbst nimmt ihn nicht auf. Werden Epidermiszellen von Tradescantia zunächst plasmolytisch gemacht, tödtet man die Zellen dann durch Eintauchen der Epidermisstücke in heisses Wasser und legt man sie nun in Kirschsaft, so färben sich das Plasma und der Zellkern ziemlich intensiv, weil das getödtete Protoplasma leicht permeabel für viele Stoffe ist, die es im lebensthätigen Zustande nicht aufzunehmen vermag.

Will man den Nachweis liefern, dass das Protoplasma im normalen Zustande impermeabel, nach dem Absterben aber permeabel für Zucker ist, so werden einerseits sorgfältig abgespülte Stücke rother Rüben

direct, andererseits aber solche Stücke nach dem Abtödten durch heisses Wasser in destillirtes Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur übertragen. Entnimmt man den Flüssigkeiten nach einigen Stunden kleine Proben, versetzt sie mit einigen Tropfen verdünnter Salzsäure und kocht sie kurze Zeit lang, so lässt sich in derjenigen Flüssigkeit, die sich mit den getödteten Rübenstücken in Contact befunden hatte, das Vorhandensein von Zucker leicht mit Hülfe von FEHLING'scher Lösung feststellen, während die andere Flüssigkeit keinen Zucker enthält.

Um den Nachweis zu liefern, dass das normale Hyaloplasma auch häufig impermeabel für Mineralstoffe ist, stellen wir uns 2—4procentige Lösungen von Chlornatrium oder Kalisalpeter her. In diese Lösungen bringen wir Staubfadenhaare von Tradescantia oder Epidermisstreifen von dem Mittelnerv der Unterseite des Blattes von Tradescantia discolor. Die Zellen dieses letzteren im Gewächshause zu cultivirenden Objectes enthalten gefärbten Zellsaft, und es ist dasselbe in jeder Jahreszeit zu haben. Die Lösungen dringen durch die Zellhäute in die Zellen ein, es erfolgt im Laufe von 1—2 Stunden Plasmolyse, und diese bleibt bestehen, wenn die Untersuchungsobjecte noch mehrere Stunden lang in den Salzlösungen verweilen. Diese letztere Erscheinung ist aber gerade von besonderer Wichtigkeit für uns, denn wäre das Plasma unter den bezeichneten Umständen permeabel für Kochsalz oder Salpeter, so müsste sich mit wachsender osmotischer Leistungsfähigkeit des Zellsaftes der Protoplasmakörper in den Zellen allmählich wieder ausdehnen [1]).

Die diosmotischen Eigenschaften des lebenden Hyaloplasmas einer- und der Zellhaut andererseits sind nach dem, was wir wissen, sehr verschiedene. Jenes ist gewöhnlich nicht permeabel für Farbstoffe, Zucker etc., während sich die Zellhaut den genannten Stoffen gegenüber ganz ähnlich wie vegetabilisches Pergament verhält. Somit gewährt es Interesse, einige Versuche anzustellen, die uns Aufschluss über die Permeabilität dieses letzteren Materials bei der Osmose geben. Als Dialysator kann man ein weites, an seinem unteren Ende mit Pergamentpapier verschlossenes Glasrohr verwenden. Ich habe dem Apparat bei meinen Experimenten der bequemeren Handhabung wegen eine etwas andere Einrichtung gegeben. Ein dickwandiges Glasrohr von 80 Mm. Länge und 40 Mm. Weite trägt an seinem unteren Ende einen Messingring, der aussen mit einer Schraubenwindung versehen ist. Der unteren Fläche dieses Rings liegt die eine Seite der Membran aus vegetabilischem Pergament dicht an, während die andere Seite derselben sich in Berührung mit der nach oben gewandten Fläche eines zweiten, aber ziemlich dünnen Messingringes befindet. Auf den gesammten unteren Theil des Dialysators kann endlich eine mit einer kreisrunden Oeffnung von 40 Mm. Durchmesser versehene Messingkappe aufgeschroben werden. Die frei liegenden Messingtheile des Dialysators sind mit einem geeigneten Lack überzogen. Man stellt den Apparat nun auf kleinen Glasklötzen in einer Krystallisirschale auf, giesst destillirtes Wasser in dieselbe und die Lösung des auf sein osmotisches Verhalten

---

1) Literatur: Vgl. SACHS, Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 447, wo namentlich die wichtigen Arbeiten NÄGELI's besprochen sind. Ferner vgl. DE VRIES, Archives, Néerlandaises, 1871, T. 6, und PRINGSHEIM's Jahrbücher, B. 16, S. 588; DETMER, Journal f. Landwirthschaft, 27. Jahrgang, S. 380, sowie Botan. Zeitung, 1886, Nr. 30.

zu prüfenden Stoffes in den Dialysator. Bei Experimenten mit Extracten aus rothen Rüben, Zucker- oder Salzlösungen (z. B. Lösungen von Chlornatrium, salpetersaurem Kali etc.) lässt sich leicht feststellen, dass der Farbstoff, der Zucker sowie die Mineralstoffe im Stande sind, die benutzte Membran zu passiren und in das den Dialysator umgebende Wasser überzugehen.

Weiter ist es nun aber auch mit Rücksicht auf die Thatsache, dass viele Stoffe, welche die Zellhaut zu passiren vermögen, nicht in das Plasma eindringen, von besonderem Interesse, Membranen auf künstlichem Wege herzustellen, durch welche Stoffe, die durch Pergamentpapier diosmosiren, nicht hindurchgehen. Wir bereiten uns 1procentige Lösungen von Calciumnitrat und Dinatriumphosphat. Diese letztere gelangt in unseren mit Pergamentpapier verschlossenen Dialysator, während jene erstere als Aussenflüssigkeit dient. Es entsteht im vegetabilischen Pergament eine Niederschlagsmembran von Calciumphosphat, und wenn wir der Dinatriumphosphatlösung im Dialysator nach Verlauf einiger Stunden wenige Tropfen einer wässerigen Methylenblaulösung hinzufügen, so ergiebt sich, dass der Farbstoff nicht in die Aussenflüssigkeit übergeht. Bei meinen Experimenten erschien dieselbe z. B. nach 24 Stunden noch durchaus ungefärbt. Entfernt man die im Dialysator vorhandene gefärbte Flüssigkeit, spannt neues Pergamentpapier in den Apparat ein, ersetzt die Aussenflüssigkeit durch reines Wasser und giesst die Methylenblau enthaltende Dinatriumphosphatlösung wieder in den Dialysator ein, so findet man, dass der Farbstoff jetzt alsbald durch das vegetabilische Pergament in das Wasser übertritt. Bei meinen Versuchen war dasselbe bereits nach 2 Stunden merklich tingirt. Für Chlornatrium sind Niederschlagsmembranen von Calciumphosphat, wovon man sich ja leicht überzeugen kann, permeabel. Die angeführten Experimente haben, was besonders zu betonen ist, nur den Zweck, den Nachweis zu liefern, dass bestimmte Stoffe, die eine Membran passiren können, eine andere Membran häufig nicht zu diosmosiren vermögen. Solche Versuche sind offenbar für die Beurtheilung des Verhaltens bestimmter Stoffe der Zellhaut einer- und dem Protoplasma andererseits gegenüber von besonderem Interesse. Ob aber ein Körper, der eine künstliche Membran nicht passirt, zugleich nicht im Stande ist, in das Protoplasma einzudringen, muss immer erst durch besondere Beobachtungen ermittelt werden, und mit Bezug auf das Methylenblau ist zu bemerken, dass dasselbe in der That durch das Plasma in das Innere der Zellen übertreten kann.

Werden Exemplare von Elodea canadensis 24 Stunden lang mit einer 0,0008-procentigen wässerigen Methylenblaulösung in Berührung belassen (man benutze 1 Liter Flüssigkeit), so ergiebt die mikroskopische Untersuchung der Blätter, dass ihr Zellsaft tief blau gefärbt ist. Die Zellen sind nicht abgestorben, denn es ist Protoplasmabewegung in ihnen vorhanden, und man sieht also, dass der Farbstoff die Zellhaut sowie das Plasma passirt haben muss [1]).

Nach den Resultaten unserer Untersuchungen zu urtheilen, vermögen manche Stoffe (Farbstoffe, Zuckerarten, Pflanzensäuren, Mineralstoffe) die Hautschichten des Plasmas häufig nicht als solche zu diosmosiren. Damit ist aber nicht gesagt, dass das Hyaloplasma unter allen Um-

1) Vgl. Pfeffer, Untersuchungen aus d. botan. Institut in Tübingen, B. 2, S. 223 u. 302.

ständen impermeabel für die genannten Körper sei. Neuere Beobachtungen verschiedener Forscher, die aber noch keineswegs zum Abschluss gelangt sind, führen vielmehr zu einer anderen Ansicht. Es scheint, dass bestimmte Stoffe, die für gewöhnlich das Plasma nicht passiren, dasselbe zu durchwandern vermögen, wenn energische Stoffaccumulationen in den Zellen stattfinden. Das Hyaloplasma verändert auch wahrscheinlich in Folge der Lebensvorgänge selbst und den Bedürfnissen der Zellen entsprechend seine diosmotischen Eigenschaften, aber es wird erst fortgesetzte energische Forschung über diese Verhältnisse Licht verbreiten können.

56. Der Turgor und die Plasmolyse.

Die im Zellsaft gelösten Substanzen (Mineralstoffe, organische Säuren, Zuckerarten etc.) befördern auf osmotischem Wege Wasser in das Innere der Zellen. Indem das Volumen des Zellsaftes dadurch mehr und mehr wächst, übt derselbe einen Druck auf das Protoplasma und die Zellhaut aus, welche ihrerseits freilich dehnbar, aber zugleich auch elastisch sind. Die Grösse der Turgorausdehnung einer Zelle ist somit abhängig von der Grösse der in ihrem Innern zur Geltung kommenden Turgorkraft einer- und der Grösse des Widerstandes der gedehnten Zellschichten (Protoplasma sowie Zellhaut) andererseits[1]).

Man kann Apparate construiren, welche in der That gute Dienste leisten, wenn es sich darum handelt, eine unmittelbare Vorstellung vom Wesen des Turgors zu gewinnen. Ich benutze dazu Glasröhren von 80 Mm. Länge und 40 Mm. Weite. Man verschliesst zunächst die eine Oeffnung einer solchen Röhre mit einem Stück Schweinsblase, füllt die Röhre mit einer fast concentrirten Rohrzuckerlösung völlig an und bindet auch über das obere Röhrenende ein Stück Schweinsblase. Diese sogen. künstliche Zelle taucht man nun in destillirtes Wasser unter. Die Zuckerlösung zieht auf osmotischem Wege Wasser an, so dass der Zellinhalt, dessen Volumen mehr und mehr wächst, einen immer stärker werdenden Druck auf die Membranstücke geltend macht. Diese wölben sich convex nach aussen vor, üben aber in Folge ihrer Elasticität ihrerseits auch einen Druck auf den Zellinhalt aus, so dass also in unserem Apparat eine beträchtliche Spannung (Turgorspannung) zwischen der Zuckerlösung und den Membranstücken zu Stande kommen muss. Wenn die künstliche Zelle energisch turgescirt, wird sie aus dem Wasser herausgenommen. Man durchsticht die eine ihrer Membranen mit einer feinen Nadel und wird beobachten, dass sofort ein Flüssigkeitsstrahl aus der erzeugten Oeffnung hervorspritzt, während die Membranen erschlaffen. In der turgescirenden Zelle muss also ein erheblicher Druck bestanden haben.

Sehr lehrreich ist ferner das folgende Experiment, welches man auch bequem in der Vorlesung ausführen kann. Ein Gläschen wird mit verdünnter Ferrocyankaliumlösung angefüllt und ein kleines Stück Kupferchlorid in die Flüssigkeit geworfen. Das Kupferchlorid umgiebt sich sofort mit einer Niederschlagsmembran von Ferrocyankupfer, und indem es Wasser von aussen anzieht, wird diese letztere gedehnt. Es

1) Speciellere Auseinandersetzungen über das Wesen des Turgors vgl. in meinem Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 213.

entsteht auf diese Weise eine turgescirende künstliche Zelle (TRAUBE'sche Zelle), die aber schnell an Grösse zunimmt und allmählich mehrere Centimeter Länge erreichen kann. Indem nämlich die braune Ferrocyankupfermembran gedehnt wird, treten von innen gelöste Kupferchloridmoleküle, von aussen Ferrocyankaliummoleküle in dieselbe ein. Diese Membranogene gerathen in der Membran mit einander in chemische Wechselwirkung; es resultiren Ferrocyankupfermoleküle, welche das durch Dehnung eingeleitete Wachsthum der Membran thatsächlich herbeiführen[1]).

Wenn man zu den Zellen der Staubfadenhaare von Tradescantia, zu den Epidermiszellen der Blätter dieser Pflanze oder zu Spirogyrafäden, die im Wassertropfen auf dem Objectträger liegen, vom Deckglasrande aus Glycerin oder Zuckerlösung treten lässt, so machen sich die unter 55 erwähnten Erscheinungen geltend. Die Zellen gehen aus dem turgescirenden in den plasmolytischen Zustand über. Ihr Protoplasma löst sich von der Zellwand ab und zieht sich zusammen, indem der Zellsaft sein Wasser nach aussen an die wasseranziehenden Flüssigkeiten (Glycerin, Zuckerlösung) abgiebt. Durch die Plasmolyse gehen die Zellen keineswegs sofort zu Grunde, was sich schlagend aus der Thatsache ergiebt, dass das Protoplasma plasmolytisch gemachter Zellen der Staubfadenhaare von Tradescantia noch längere Zeit impermeabel für den im Zellsaft gelösten violetten Farbstoff bleibt.

Wir müssen aber auch Versuche anstellen, um den Nachweis dafür beizubringen, dass es leicht möglich ist, aus vielen Geweben bestehende Pflanzentheile aus dem turgescirenden in den plasmolytischen Zustand überzuführen. Wir experimentiren mit jungen Blüthenschäften von Butomus umbellatus und Plantagoarten, mit Blattstielen von Tropaeolum, mit dem etiolirten Epicotyl von Phaseolus oder mit den Hauptwurzeln dieser Pflanze (Keimpflanzen in Sägespänen gezogen). Auf die 50—100 Mm. langen Stengel- respect. Wurzelstücke, welche wir den jüngsten Theilen der genannten Organe entnehmen, tragen wir in Entfernungen von 40—90 Mm. feine Tuschemarken auf. Wir benutzen beste chinesische Tusche, die wir mit Wasser anreiben. Zum Auftragen der Marken dient ein Marderpinsel, der stets sorgfältig rein zu halten ist. Haben wir die Entfernung der Marken mit Hülfe eines Millimetermaassstabes festgestellt, so gelangen die Pflanzentheile in eine 10procentige wässerige Lösung von Kochsalz oder Kalisalpeter. Sie verlieren in diesen Lösungen ihren Turgor, gehen in den plasmolytischen Zustand über, werden schlaff, und man kann nach Verlauf kürzerer oder längerer Zeit (4—24 Stunden) leicht feststellen, dass die Entfernung der Marken eine weit geringere als bei Beginn der Experimente ist. Die Salzlösungen entziehen den Zellen, ebenso wie dies Glycerin oder Zuckerlösungen thun, Wasser. Der dadurch bedingte Turgorverlust der Zellen führt die Contraction der Gewebe herbei[2]).

Verlieren Pflanzentheile durch Welken Wasser, so verkürzen sie sich auch hierbei in dem Maasse, in welchem der Turgor ihrer Zellen abnimmt. Wir legen in Sägespänen erwachsene Pisumkeimpflanzen, deren Wurzeln eine Länge von etwa 80 Mm. erreicht haben, $^1/_2$ Stunde

---

1) Vgl. TRAUBE in DU BOIS-REYMOND's und REICHERT's Archiv f. Anat. und Physiol., 1867, S. 87.

2) Vgl. H. DE VRIES, Untersuchungen über die mechanische Ursache der Zellstreckung, Halle, 1877.

lang in Wasser, damit die Wurzelzellen zunächst völlig turgescent werden. Wir trocknen die Wurzeln nun vorsichtig mit einem Leinentuch ab und tragen eine Tuschemarke dicht hinter der Wurzelspitze, eine zweite etwa 25 Mm. von dieser entfernt auf die Wurzeln auf. Lässt man die Wurzeln nun 10 Minuten lang an der Luft welken, so haben sie sich, wie leicht zu constatiren ist, nicht unerheblich verkürzt. Legt man die Keimpflanzen jetzt in Wasser, so verlängern sich ihre Wurzeln wieder, und die Entfernung der Marken wird dieselbe wie bei Beginn der Experimente[1]).

57. Die isotonischen Coefficienten.

Die Grösse der osmotischen Leistungsfähigkeit einer Zelle ist abhängig von der Qualität und Quantität der im Zellsaft vorhandenen Wasser anziehenden Substanzen. Handelt es sich darum, die Bestandtheile des Zellsaftes kennen zu lernen, so werden saftreiche Pflanzentheile (z. B. Blattstiele von Heracleum Spondylium, junge Rheumstengel, Blätter von Crassulaceen etc.) mit Hülfe einer Handpresse zunächst ausgepresst. Den gewonnenen Saft erhitzt man am besten in verschlossenen Gefässen im Wasserbade bei 100° C., um das Eiweiss zum Coaguliren zu bringen, und filtrirt ihn dann. Werden 10 Ccm. des klaren Saftes eingedunstet, um den Rückstand vorsichtig einzuäschern, so kann man in dem wässerigen Auszuge der Asche die Gegenwart von Chloriden leicht mit salpetersaurem Silberoxyd nachweisen. Die Gegenwart von Glycose ist mit Hülfe der Fehling'schen Lösung zu constatiren. Rohrzucker lässt sich in der im dritten Abschnitt angegebenen Weise nachweisen. Als Reagens auf Oxalsäure benutzt man Chlorcalcium, und wenn man zu der chlorcalciumhaltigen Flüssigkeit, eventuell nach dem Abfiltriren des entstandenen Niederschlags, Alkohol im Ueberschuss hinzusetzt, so scheiden sich äpfelsaure Salze ab, wenn dieselben vorhanden sind.

Die saure Reaction der meisten Pflanzensäfte beweist, dass die vorhandenen Basen nicht genügen, um die Gesammtmenge der organischen Säuren zu neutralisiren. Wer quantitative Untersuchungen über die Zusammensetzung der Pflanzensäfte ausführen will, vergl. die Angaben auf S. 570 in der unten citirten werthvollen Abhandlung von H. de Vries.

Es existiren manche Pflanzensäfte (z. B. derjenige aus den Blattstielen von Heracleum Spondylium), die sehr reich an Glycose sind, und in solchen Fällen ist diese Substanz von besonderer Wichtigkeit für die osmotische Leistungsfähigkeit des Zellsaftes, also auch für die Turgorkraft der Zellen. In anderen Fällen, z. B. in den Blättern von Solanum tuberosum, tritt die Menge der Glycose sehr hinter der Menge anderer Körper zurück.

Es ist nun sehr wichtig, dass die osmotische Leistungsfähigkeit gleicher Mengen der verschiedenen in den Zellsäften der Pflanzen vorhandenen Substanzen keineswegs die nämliche ist. Vielmehr ist ein Körper im Stande, das Wasser mit grosser Energie anzuziehen, während ein anderer dies nur in beschränkterem Grade vermag. H. de Vries hat die Zahlen ermittelt, welche uns die relative Grösse der Anziehung

1) Vgl. Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 396.

eines Moleküls eines Körpers in verdünnter wässeriger Lösung zum Wasser angeben. Diese Zahlen bezeichnet er als die isotonischen Coefficienten der betreffenden Substanzen. Zum Ausgangspunkt seiner gesammten Untersuchungen wählte H. DE VRIES die wasseranziehende Kraft des Kalisalpeters. Der isotonische Coefficient eines Moleküls dieser Verbindung ist, um mit ganzen Zahlen operiren zu können, = 3 gesetzt worden.

Wir lassen hier theoretische Auseinandersetzungen bei Seite, sondern stellen sofort Experimente an, um uns an der Hand der Resultate derselben über das Wesen des Gedankengangs sowie der Methode von H. DE VRIES zu orientiren. Man bereitet sich vier Lösungen von Kalisalpeter in Wasser. Die erste enthält 0,1, die zweite 0,12, die dritte 0,13, die vierte 0,15 Moleküle des Salzes, in Grm. ausgedrückt, im Liter. (Molekulargewicht des Kalisalpeters $K NO_3$ = 101). Ferner stellt man sich vier Rohrzuckerlösungen in Wasser her, von denen die erste 0,15, die zweite 0,2, die dritte 0,22 und die vierte 0,25 Moleküle Rohrzucker, in Grm. ausgedrückt im Liter enthält. (Molekulargewicht des Rohrzuckers $C_{12} H_{22} O_{11}$ = 342). Je 15 Ccm. dieser 8 Lösungen werden in kleine Glasgefässe gebracht, und in jede Lösung gelangt noch ein kleiner, etwa 1—2 Mm. langer Streifen der Epidermis des Mittelnerven von der Unterseite des Blattes von Tradescantia discolor. Die Epidermiszellen dieses Untersuchungsobjectes, von dessen vorzüglicher Brauchbarkeit ich mich überzeugte, enthalten rothen Farbstoff in ihrem Zellsaft. Die Pflanze steht, was von besonderer Wichtigkeit ist, zu jeder Jahreszeit zur Disposition; sie ist im Warmhause zu cultiviren. Man lässt die Epidermisstreifen 2 Stunden lang mit den Flüssigkeiten in den verschlossenen Gefässen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur in Berührung und untersucht das Gewebe dann mikroskopisch. Es handelt sich darum, festzustellen, ob die Flüssigkeiten eine mehr oder minder weitgehende Plasmolyse in den Epidermiszellen hervorgebracht haben, oder ob eine Plasmolyse noch nicht eingetreten ist. Der Beginn der Plasmolyse, auf den es uns besonders ankommt, ist unter Benutzung der gefärbten Epidermis von Tradescantia discolor leicht zu erkennen. Er ist durch ein eben sichtbares Zurückweichen des Protoplasmas von der Membran der Zellen charakterisirt, und wir reden im Folgenden vom „Beginn" der Plasmolyse, wenn sich das Plasma in etwa der Hälfte aller Zellen eines Objectes etwas contrahirt hat.

Man wird finden, dass die Lösungen von 0,1 Kalisalpeter und 0,15 Rohrzucker keine Plasmolyse hervorrufen, diejenigen von 0,15 Kalisalpeter und 0,25 Rohrzucker aber schon recht erhebliche plasmolytische Wirkungen veranlassen. Der Beginn der Plasmolyse tritt bei dazwischen, liegenden Concentrationen ein, z. B. bei Lösungen von 0,13 Kalisalpeter und 0,22 Rohrzucker. Diese beiden Lösungen würden danach die nämliche wasseranziehende Kraft besitzen; sie rufen beide den Beginn der Plasmolyse hervor; ihre isotonische Concentration ist die gleiche. Die Werthe 0,22 und 0,13 stehen nun zu einander in dem Verhältniss von 1 zu 0,591, und wenn wir den isotonischen Coefficienten eines Moleküls des Kalisalpeters = 3 setzen, so berechnet sich derjenige eines Moleküls Rohrzucker zu 1,77. Man sieht also, dass einem Molekül des Kalisalpeters eine grössere wasseranziehende Kraft zukommt, als einem Molekül Rohrzucker.

H. DE VRIES hat mit Hülfe seiner vergleichenden plasmolytischen Methode die isotonischen Coefficienten einer ganzen Reihe verschiedener

Körper, die im Zellsaft angetroffen werden, ermittelt. Ich gehe aber hier nicht weiter auf seine wichtigen Untersuchungsresultate ein; empfehle seine Arbeit aber ganz besonders zu genauem Studium[1]).

58. Die Grösse der Turgorkraft.

Handelt es sich darum, die Grösse der in Pflanzentheilen thätigen Turgorkraft festzustellen, so experimentirt man zweckmässig mit Sprossstücken von 1—2 Mm. mittlerer Dicke und 100 Mm. Länge, z. B. mit Blüthenschäften von Plantago oder mit Stengelstücken von Lonicera tatarica, welches Untersuchungsobject ich benutzte, etc. etc. Man bringt in einer Entfernung von 80 Mm. Tuschemarken auf den Pflanzentheilen an und versetzt sie durch 24 Stunden dauernden Aufenthalt in 10procentiger Kochsalzlösung in einen völlig plasmolytischen Zustand. Die eingetretene Verkürzung kann leicht mit Hülfe eines Millimetermaassstabes ermittelt werden. Jetzt werden die Untersuchungsobjecte unter Benutzung des in Fig. 42 abgebildeten Apparates einer Dehnung unterzogen. Sie ruhen dabei in horizontaler Lage auf einem Brett *B* oder besser noch auf einer Korkplatte; ihr dünnes Ende wird mit einer kleinen Korkplatte *K* bedeckt, welcher man mit Hülfe einer Schraube eine unverrückbare Lage ertheilt, während um ihr dickeres Ende ein Faden geschlungen wird. Der Faden läuft über eine Rolle *R* und trägt eine Schale *G*, die zur Aufnahme von Gewichten bestimmt ist. Man belastet die Schale so lange, bis die Entfernung zwischen den auf den Sprossstücken vorhandenen Marken wieder dieselbe wie vor der Plasmolyse, also 80 Mm., geworden ist. Was im Experiment die Dehnung durch das Gewicht leistet, das leistet in der Natur die Turgorkraft. Wir können somit durch unser Experiment die Grösse der Turgorkraft im unversehrten Pflanzentheil wenigstens annähernd genau ermitteln. Wenn der mittlere Durchmesser eines cylindrischen Stengeltheiles 1 Mm. beträgt, so ist die entsprechende Querschnittfläche = 0,785 □Mm., denn der Inhalt eines Kreises (J) lässt sich leicht nach der Formel $J = {}^1/_2\ r \cdot u$ berechnen, in der r der Radius, u der Umfang (2 r. 3,141, Ludolph'sche Zahl) des Kreises ist. Braucht man ferner 50 Grm., um den plasmolytisch gemachten Spross von 1 Mm. Durchmesser bis auf seine ursprüngliche Länge auszudehnen, so berechnet sich daraus die Grösse der Turgorkraft im frischen Pflanzentheil = $6\,{}^1/_2$ Atmosphären. Derartig hohe Werthe erreicht die Turgorkraft thatsächlich häufig; in einem bestimmten Falle fand ich sie für ein Stengelstück von Lonicera tatarica = 1,4 Atmosphären[2]).

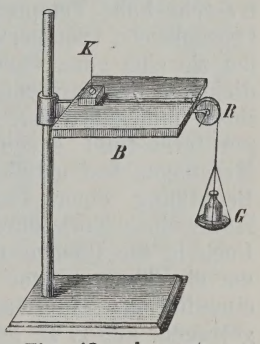


Fig. 42. Apparat zur Bestimmung der Grösse der Turgorkraft.

1) Vgl. H. DE VRIES in PRINGSHEIM's Jahrbüchern f. wissenschl. Botanik, B. 14.

2) Vgl. H. DE VRIES, Die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, Halle 1877, S. 118.

59. Der Temperaturzustand der Gewächse.

Der Temperaturzustand eines Pflanzentheiles ist von sehr zahlreichen Momenten abhängig. Es kommen als solche in Betracht: die Organisation des Pflanzentheils, seine Lage im Organismus, sein Wassergehalt, seine Eigenwärme, seine Transpirationsgrösse, sein Wärmeabsorptions-, Wärmeleitungs- und Wärmestrahlungsvermögen etc. Somit leuchtet ein, dass es in zahlreichen Fällen schwierig sein wird, die Gründe des Näheren anzugeben, welche eine bestimmte, durch Beobachtung festgestellte Temperatur eines Pflanzentheiles bedingt haben. Zudem sind viele Verhältnisse, welche hier in Betracht kommen, noch nicht oder nicht eingehend genug untersucht.

Stark transpirirende Glieder einer Pflanze sind häufig etwas kälter als die sie umgebende Luft, zumal deshalb, weil bei der Wasserdampfbildung viel Wärme gebunden wird. Andererseits nehmen Gewächse, die schwach transpiriren und eine fleischige, succulente Beschaffenheit besitzen, unter dem Einfluss der directen Sonnenstrahlen oft eine relativ sehr hohe Temperatur an. Wenn man die Blätter stark besonnter Crassulaceen (Sempervivum, Escheveria) mit der Hand berührt, so fühlen sie sich ganz warm an; ihre Temperatur ist eine weit höhere als diejenige der zarteren, dünneren Blätter anderer Pflanzen, die sich in ihrer unmittelbaren Nähe entwickeln. Es ist sehr lehrreich, den Temperaturzustand succulenter Pflanzen genauer durch thermometrische Messungen festzustellen[1]), und ich habe solche Beobachtungen unter Benutzung einer Cactusart (Echinopsis multiplex) ausgeführt. Mit Hülfe eines Korkbohrers wird ein bis zur Mitte des Cactus reichendes Loch in die Pflanze gebohrt, die Bohrung mit Fliesspapier gereinigt, um ein Thermometer mit cylindrischem Quecksilberbehälter in dieselbe einzuführen. Hat man für einen dichten Verschluss der Oeffnung Sorge getragen, der z. B. leicht unter Benutzung von etwas Fliesspapier zu erzielen ist, so wird das Untersuchungsobject an einem Ort im Freien aufgestellt, an welchem es während des Tages den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt ist. Man stellt nun am Tage und auch in der Nacht Beobachtungen über den Temperaturzustand der Versuchspflanze an und vergleicht die gewonnenen Resultate mit denjenigen, zu welchen man bei Beobachtung eines im Schatten aufgehängten Thermometers gelangt. Sichere Bestimmungen der Lufttemperatur sind übrigens gar nicht so ganz leicht auszuführen. Am besten ist es, wenn das Thermometer in einem grossen Zinkkasten aufgestellt wird, der in gehöriger Entfernung vom Erdboden vor dem nach Norden gelegenen Fenster eines Gebäudes hängt. Der Kasten muss derartig eingerichtet sein, dass er Luftcirculation gestattet; er darf auch nicht zu dicht vor dem Gebäude angebracht werden. Man wird bei der Ausführung der Untersuchungen zumal über die Temperaturen erstaunen, welche der Cactus in der Sonne annimmt. An einem warmen Tage besass ein Beobachtungsobject um $10^1/_2$ Uhr Morgens eine Temperatur von 23,0 ° C.; dieselbe war bis um $2^1/_2$ Uhr auf 40,5 ° C. gestiegen. Lufttemperatur zu dieser Zeit im Schatten 24,5 ° C. Dieselbe Pflanze hatte am Nachmittag eines anderen Tages eine Temperatur von 45,5 ° C. angenommen.

Will man Aufschluss über die Temperatur erhalten, welche im In-

1) Vgl. Askenasy, Botan. Zeitung, 1875.

nern von Baumstämmen herrscht, so bohrt man dieselben bis zur Mitte an und führt Thermometer in die Bohrungen ein. Ein luftdichter Verschluss kann ohne Mühe durch kurze Stückchen Kautschukschlauchs erzielt werden, welche man über die Thermometer gezogen hat. Die Temperaturverhältnisse im Innern der Bäume sind natürlich dicht über der Bodenoberfläche andere als in höher gelegenen Regionen, und es ist selbstverständlich ebenso nicht einerlei, ob das Untersuchungsobject im Laufe des Tages von directen Sonnenstrahlen getroffen wird, oder ob dies nicht der Fall ist. Wenn man mit nicht zu dünnen Baumstämmen, z. B. solchen von 40 Ctm. Durchmesser, in welche die Thermometer also 20 Ctm. weit hineinragen, operirt, so findet man im Allgemeinen, dass die Baumtemperatur am Tage niedriger, in der Nacht aber höher als die Lufttemperatur ist, und dass das tägliche Temperaturmaximum der Baumtemperatur erheblich später als das tägliche Maximum der Lufttemperatur eintritt.

Durch einen einfachen, auch in der Vorlesung über Pflanzenphysiologie leicht ausführbaren Versuch kann man die Thatsache demonstriren, dass trockenes Holz die Wärme schneller in der zur Stammaxe parallelen als in einer dazu rechtwinkeligen Richtung leitet. Eine glatt gehobelte Platte Linden-, Birken- oder Eichenholzes wird mit Hülfe eines in geschmolzenes Wachs eingetauchten Pinsels mit einer dünnen Wachsschicht überzogen. Man erwärmt nun einen Draht und stemmt sein warmes Ende rechtwinkelig gegen die Holzplatte. Es entsteht eine Schmelzungszone (*S* Fig. 43), die eine Ellipse darstellt, deren grössere Axe parallel zur Holzfaser gerichtet ist. Man kann die Länge der grösseren und kleineren Axe der Ellipse messen, um daraus das Verhältniss der Wärmeleitungsgeschwindigkeit in der Längs- und Querrichtung des Holzes zu berechnen. Wenn man an Stelle der Holzplatte eine mit dünner Wachsschicht überzogene Glasplatte zum Experiment benutzt, so erhält man keine elliptische, sondern in Folge der gleichen Wärmeleitungsfähigkeit des Glases nach verschiedenen Richtungen hin eine kreisförmige Schmelzungszone.

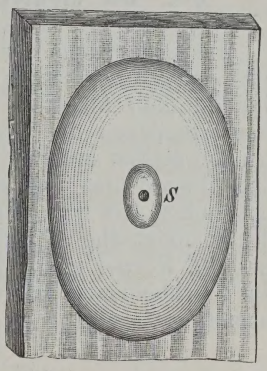


Fig. 43. Mit Wachs überzogene Holzplatte. *S* Schmelzungszone.

Da die thermischen Zustände des Bodens einen erheblichen Einfluss auf die Vegetation geltend machen, so ist es gewiss nicht ohne Interesse, das folgende Experiment auszuführen. Wir stellen zwei würfelförmige Zinkkästchen von 6 oder 8 Ctm. Durchmesser auf. In den einen Kasten bringen wir lufttrockenes Bodenmaterial, den andern füllen wir mit der gleichen Bodenmenge an, nachdem dieselbe zuvor mehr oder minder oder gar vollständig mit Wasser durchtränkt worden ist. Beide Zinkkästen setzen wir nun einige Stunden lang den directen Sonnenstrahlen aus, es ist aber zweckmässig, die Kästen in eine Holzkiste zu stellen und mit einem schlechten Wärmeleiter (z. B. Watte) zu umgeben, damit die Sonnenstrahlen fast nur von oben her auf den Boden einwirken können. Führen wir Thermometer bis zur Tiefe von 1 Ctm. in den trockenen sowie den feuchten Boden ein, so werden wir leicht constatiren, dass der trockene Boden sich weit mehr als der feuchte

erwärmt, und ich fand z. B. bei Beobachtungen, die allerdings in etwas anderer Weise durchgeführt wurden, wie es hier angegeben worden ist, dass eine den directen Sonnenstrahlen exponirte trockene Torferde in $1^1/_2$ Stunden eine Temperatur von 34,3° C. an der Oberfläche angenommen hatte, während die Temperatur des nassen Bodenmaterials nur 29,5° C. betrug. Die geringere Temperatur des mit Wasser durchtränkten Bodens im Vergleich zum trockenen ist Folge der hohen specifischen Wärme des Wassers sowie des Umstandes, dass bei der Wasserverdunstung Wärme gebunden wird. Sehr wasserreiche Böden bezeichnet man auch wohl als kalte, eine Ausdrucksweise, die in der That nicht unzutreffend erscheint. Es ist hier nicht der Ort, die thermischen Zustände des Bodens weiter zu untersuchen [1]).

60. Die elektromotorischen Wirkungen an Pflanzen.

Im Organismus der Gewächse können in Folge verschiedener Processe elektromotorische Wirkungen zu Stande kommen, und zumal sind die ganz allgemein in den Pflanzen auftretenden Bewegungen von Wassertheilchen als Ursachen elektrischer Spannungen und Ströme in den Gewächsen erkannt worden. Neuerdings hat namentlich Kunkel [2]) Experimente über elektromotorische Wirkungen an Pflanzen ausgeführt, und zudem hat er in Uebereinstimmung mit Quincke beobachtet, dass elektromotorische Wirkungen zu constatiren sind, wenn Flüssigkeiten in todte Körper eindringen. Ich habe Gelegenheit gehabt, eine Reihe von Erscheinungen, über die Kunkel berichtet, aus eigener Anschauung kennen zu lernen.

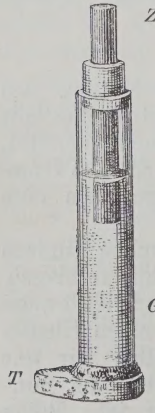


Fig. 44. Unpolarisirbare Elektrode.

Wir stellen eine frische, trockene Thonzelle auf und hängen einerseits eine unpolarisirbare (Zink-Zinkvitriol-Thonstiefel) Elektrode in die Thonzelle hinein, andererseits legen wir eine ebensolche Elektrode der Aussenwand der Thonzelle an. Man kann sich die Elektroden leicht selbst herstellen. Sie brauchen nur einige Ctm. Länge zu besitzen und bestehen, wie Figur 44 zeigt, aus einem kurzen Glasrohr *G* von etwa 1 Ctm. Weite, das an seinem unteren Ende mittelst einer kleinen Thonplatte *T* verschlossen ist. Zur Befestigung der an einer Seite etwas über den Rand des Glasrohrs vorspringenden Thonplatte benutzt man Siegellack. Hat man die befestigte Thonplatte durch Einlegen in Wasser hinreichend durchfeuchtet, so giesst man Zinkvitriollösung in das Glasrohr und bringt an dem oberen Ende desselben mittelst eines Kautschukschlauchstückes einen kleinen Zinkstab an, der mit seinem unteren Theil in die Zinkvitriollösung hineinragen muss, oben aber eine Klemmschraube trägt. Um die Elektroden bequem handhaben zu können, befestigt man die Glasröhren

1) Specielleres vgl. bei Detmer, Lehrbuch d. Bodenkunde, 1876, S. 256.

2) Vergl. Kunkel in Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie, B. 25, und Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2.

in Korkstückchen, und diese letzteren an etwa 1 Fuss langen Bleiröhren, welche ihrerseits mit Retortenhaltern gefasst werden. Ist der Apparat zusammengestellt, mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung gebracht, und hat man Wasser in die Thonzelle gegossen, so dass die eine Elektrode in dieses hineinhängt, dann beobachtet man alsbald das Auftreten eines elektrischen Stromes, dessen Ursache in der mit dem Eindringen des Wassers in die Thonzelle zu Stande kommenden Wasserbewegung zu suchen ist. (Specielles ist bei Kunkel zu vergleichen.)

Für Untersuchungen über elektromotorische Wirkungen an unverletzten Pflanzentheilen benutzt man abgeschnittene oder noch an der Pflanze (Aristolochia, Vitis, Cucurbita) befindliche Blätter. Wird die eine der unpolarisirbaren Elektroden mit einem Blattnerven, die andere mit der grünen Blattfläche in Contact gebracht, und schliesst man ein empfindliches Elektrometer (z. B. ein Thomsen'sches) in den Kreis ein, so beobachtet man, dass in der That ein Spannungsunterschied zwischen den beiden berührten Blattstellen besteht. Die Blattnerven verhalten sich positiv gegen die grüne Blattfläche, was in dem gebräuchlichen Sinne zu verstehen ist, dass die positive Elektricität von dem Blattnerven in den ableitenden Bogen eintritt.

Die elektromotorischen Wirkungen werden im Experiment erst durch die Berührung der Blätter mit den feuchten Elektroden hervorgerufen, und zwar sind die dadurch bedingten Wasserbewegungen als Ursache der elektromotorischen Wirkung anzusehen. Die unter natürlichen Verhältnissen in den Pflanzen zur Geltung kommenden Wasserbewegungen müssen aber ebenso zur Entstehung elektrischer Spannungen und Ströme Veranlassung geben.

IV. Die Bewegung der Gase in den Pflanzen.

61. Einiges über das Verhalten der Gase im Allgemeinen.

Es wird ein Reagensglas mit einem Pflanzensaft angefüllt, z. B. mit Rübensaft, den man durch Zerreiben entrindeter Runkelrübenstücke auf einem Reibeisen und Auspressen des in ein Tuch gebrachten Breies gewonnen und eventuell durch Filtriren geklärt hat. Ferner füllt man eine kleine Schale mit dem Rübensaft, bringt die Mündung des Reagensglases in diese Flüssigkeit und verdrängt endlich den Saft in dem Glase durch Kohlensäure. Lässt man den Apparat dann einige Zeit ruhig stehen, so zeigt sich, dass der Saft in dem Reagensglase emporsteigt. Die Kohlensäure wird von der Flüssigkeit absorbirt, und ebenso ist auch der in der unversehrten Zelle vorhandene Zellsaft im Stande, Kohlensäure, mit der er in Berührung gelangt, zu absorbiren. Das Absorptionsvermögen wässeriger Lösungen für Sauerstoff sowie Stickstoff ist ein weit geringeres als dasjenige für Kohlensäure.

Es vermögen auch lufttrockene Pflanzentheile, z. B. Samen, nicht unerhebliche Kohlensäuremengen zu absorbiren. In eine am oberen Ende zugeschmolzene Glasröhre bringt man 15 oder 20 lufttrockene Samen von Phaseolus multiflorus und schiebt noch ein kleines Korkstückchen

oder etwas Glaswolle nach, um die Samen im oberen Röhrentheil festzuhalten. Die Röhre wird nun derartig aufgestellt, dass ihr verschlossenes Ende nach unten gerichtet ist, ein kräftiger Strom Kohlensäure eingeleitet, die Mündung der Röhre mit dem Daumen verschlossen und diese schnell unter Quecksilber gebracht. Das Quecksilber steigt allmählich in der Röhre empor, da die Samen im Laufe mehrerer Tage einige Ccm. Kohlensäure absorbiren, und wenn man das Volumen des Gases in dem Apparat bei Beginn und bei Abschluss des Experimentes genau feststellt (vergl. Methode unter 13), so ist es möglich, die Quantität der von den Untersuchungsobjecten gebundenen Kohlensäure exact zu bestimmen [1]). Nach Borodin absorbiren gequollene Bohnensamen nicht viel mehr Kohlensäure als lufttrockene, eine Angabe, die zu weiteren Experimenten auffordert.

Nach den Untersuchungen von Graham und Bunsen verhalten sich die Geschwindigkeiten, mit welchen die Gase poröse Scheidewände, die keine specifische Anziehungskraft auf eben diese Gase geltend machen, in entgegengesetzter Richtung durchziehen, umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der Gase. In der That lässt sich leicht zeigen, dass der Wasserstoff z. B. weit schneller eine poröse Scheidewand passirt als atmosphärische Luft. Ich benutzte bei meinen bezüglichen Experimenten ein 15 Mm. weites und etwa 40 Ctm. langes Glasrohr, das an einem Ende mit einer trockenen Thonplatte von 5 Mm. Dicke verschlossen wurde. Die Thonplatte lässt sich mit Hülfe von Siegellack leicht am Röhrenende befestigen. Wird die Glasröhre jetzt mit Wasserstoffgas angefüllt und ihr offenes Ende dann schnell unter Wasser gebracht, so steigt die Flüssigkeit alsbald bis zu bedeutender Höhe im Apparat empor, weil in der Zeiteinheit eine grössere Menge Wasserstoff durch die Thonplatte in die atmosphärische Luft übergeht, als atmosphärische Luft in den Apparat eintritt.

Die specifisch schwere Kohlensäure passirt nach demjenigen, was wir über die Bewegung der Gase wissen, derartige poröse Scheidewände wie Thonplatten auf jeden Fall viel langsamer als atmosphärische Luft; indessen eine durchaus abweichende, geradezu entgegengesetzte Erscheinung macht sich geltend, wenn man Kohlensäure und atmosphärische Luft durch eine Scheidewand von einander trennt, deren Substanz eine specifische Anziehung auf die Kohlensäure ausübt (Gasabsorption). Als ich ein Glasrohr an einem Ende mit einer dünnen Kautschukmembran verschloss (die Kautschukmembran bindet man am besten mit Gummischnur fest), die Röhre mit Kohlensäure anfüllte und ihre offene Mündung unter Quecksilber brachte, stieg dieses allmählich mehr und mehr in der Röhre empor. Freilich erhebt sich das Quecksilber nicht schnell im Apparat, und es ist daher erforderlich, denselben längere Zeit (etwa 24 Stunden) ruhig stehen zu lassen. Handelt es sich nicht um die Ausführung genauer, messender Experimente, sondern nur um Demonstrationsversuche, so ist es zweckmässig, neben der mit einer Kautschukmembran verschlossenen Glasröhre noch eine zweite aufzustellen, welche die gleichen Dimensionen wie jene erste besitzt, aber am oberen Ende zugeschmolzen ist. Der Quecksilberstand in dieser zweiten Röhre lässt erkennen, welchen Einfluss die Temperatur- sowie die Luftdruckverhältnisse während der Versuche auf die eingeschlossenen Gase

1) Vgl. Borodin, Mémoires de l'acad. imp. de St. Pétersbourg, T. 28, Nr. 4.

ausüben. Es stellt sich nun nach längerer Zeit heraus, dass das Quecksilber in der mit der Kautschukmembran verschlossenen Röhre erheblich höher steht als in der anderen, denn in Folge des Absorptionsvermögens des Kautschuks für Kohlensäure passirt dieses Gas trotz seines hohen specifischen Gewichts die benutzte Membran schneller, als die atmosphärische Luft dies vermag.

Als ich eine Glasröhre an einem Ende mit einem Blattstück von Nerium Oleander verschloss, die Röhre mit Kohlensäure anfüllte und die offene Mündung in Quecksilber eintauchte, stieg dies ziemlich hoch in der Röhre empor. Den luftdichten Verschluss erreicht man bei diesem Experiment am besten dadurch, dass man ein durchbohrtes, als Widerlage dienendes Korkstück so weit über die Glasröhre schiebt, bis die Mündung der letzteren genau in einer Ebene mit der oberen Schnittfläche des Korkstücks liegt. Mit Hülfe von Siegellack, das man auf die untere Schnittfläche des Korkstücks bringt, befestigt man dieses an der Glasröhre. Die obere Korkfläche wird nun mittelst eines Pinsels mit einer in einer Porzellanschale zum Schmelzen gebrachten Mischung von 2 Thl. gelbem Wachs und 1 Thl. Colophonium bestrichen, das Neriumblattstück über die Mündung des Glasrohrs gelegt, so dass die spaltöffnungsfreie Oberseite des Blattes nach unten gewendet ist, und schliesslich ein völlig dichter Verschluss durch Bestreichen der Ränder des Blattstücks mit dem erwähnten Kitt hergestellt. Die Kohlensäureabsorption durch das Blattstück, welche das Steigen des Quecksilbers im Glasrohr bedingt, wird der Hauptsache nach wohl in Verbindung mit dem Wassergehalt des Gewebes zu bringen sein; indessen ist es nicht allein möglich, sondern sogar wahrscheinlich, dass auch die trockene Blattsubstanz an sich ein erhebliches Absorptionsvermögen für Kohlensäure besitzt. Weitere Untersuchungen wären freilich sehr erwünscht, aber immerhin ist doch so viel sicher, dass der Austausch zwischen den Gasen in der Pflanze und denjenigen der Atmosphäre, wenn auch wesentlich, so doch nicht ausschliesslich durch die Spaltöffnungen vermittelt wird. Vielmehr sind Gase auch im Stande, die cuticularisirte Epidermis zu passiren [1]).

62. Das Intercellularsystem der Pflanzen.

Die Intercellularräume der Pflanzen, welche für den Gaswechsel, die Durchlüftung und die an anderer Stelle zu behandelnde Wasserdampfbildung in den Gewächsen so wichtig sind, kommen namentlich zwischen den Zellen des Parenchyms, aber auch an anderen Orten vor. Sie sind entweder schizogenen oder lysigenen Ursprungs und im letzteren Falle oft von bedeutendem Durchmesser. Im Parenchym sind die Intercellularräume gewöhnlich zwischen den abgerundeten Kanten der Zellen als dreikantige, mit einander communicirende Kanäle vorhanden. Wir unterwerfen zunächst zarte Querschnitte aus den Cotyledonen der ruhenden Samen von Lupinus luteus einer mikroskopischen Untersuchung. Man benutzt am besten etwas angequollene Samen zur Herstellung der Schnitte und constatirt alsbald das Vorhandensein der ziemlich engen

1) Literaturangaben vgl. bei Detmer, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 97, und bei Pfeffer, Handbuch d. Pflanzenphysiologie, B. 1, S. 86. Experimentelle Untersuchungen, die hier von Interesse sind, hat zumal N. J. C. Müller (vgl. Pringsheim's Jahrbücher, B. 7) ausgeführt.

Intercellularräume zwischen den Zellen. Die luftführenden Räume sind natürlich für den normalen Verlauf der Keimung, der mit lebhaftem Gaswechsel verbunden ist, von besonderer Wichtigkeit. Auch zwischen den Zellen der über die Erdoberfläche emporgehobenen und ergrünten Cotyledonen von Lupinus lassen sich die Intercellularräume leicht auffinden.

Wir stellen ferner Querschnitte durch ein Internodium von Zea Mays her (vgl. Fig. 45). Es kann für unseren Zweck gerne an der Luft

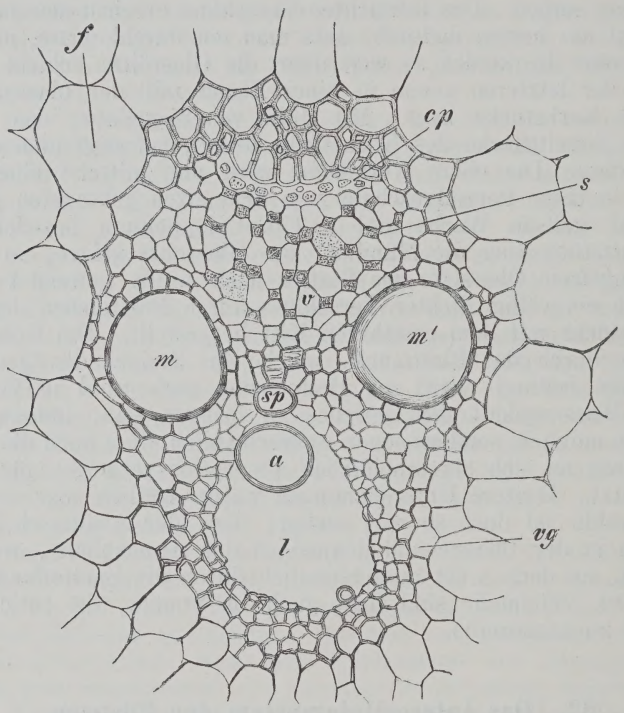


Fig. 45. Querschnitt durch ein Gefässbündel aus dem innern Theile eines Internodiums des Stengels von Zea Mays. *a* Glied eines Ringgefässes, *sp* Schraubengefäss, *m* und *m*¹ unbehöft getüpfelte Gefässe, *v* Siebröhre, *s* Geleitzellen, *cp* zerquetschte Cribralprimanen (Erstlinge des Basttheiles), *l* Intercellulargang, *vg* Scheide, *f* Zelle des Grundgewebes. Vergr. 180. (Nach STRASBURGER.)

getrocknetes Material benutzt werden. Die Gefässbündel sind nicht im Kreise angeordnet, sondern durch das gesammte Grundgewebe vertheilt. Die Zellen des letzteren sind sehr gross, und es fallen uns sofort die ziemlich weiten, als dreieckige Lücken zwischen den Zellen erscheinenden Intercellularräume auf. Jedes einzelne der collateralen Gefässbündel ist von einer Scheide, die aus lückenlos zusammenschliessenden, dickwandigen Sklerenchymzellen besteht, umgeben. Im Phloëmtheil der Gefässbündel sind die Siebröhren sichtbar, während im Xylem mehrere grosse Gefässe sofort in die Augen fallen. Auf der inneren Seite der Gefässbündel beobachten wir aber auch einen weiten Intercellularraum. Derselbe ist lysigenen Ursprungs, während die Intercellularräume des Grundgewebes auf schizogenem Wege entstanden sind.

Werden Querschnitte aus dem Stengel von Juncus glaucus mikroskopisch untersucht, so zeigt sich, dass unter der stark cuticularisirten Epidermis grünes Gewebe und Gruppen von Sklerenchymfasern mit einander abwechseln. Unter den Sklerenchymfaserbündeln sind grosse, mit Luft erfüllte Hohlräume sichtbar, und ferner erblickt man zahlreiche, in das Grundgewebe eingebettete Gefässbündel, deren Holz- und Bastheile leicht kenntlich sind. Jedes Gefässbündel ist auf seiner Aussen- sowie Innenseite mit einem Sklerenchymfaserbelag versehen. Spaltet man einen Halm von Juncus glaucus der Länge nach, so zeigt sich, dass die weite Höhlung in der Mitte des Untersuchungsobjectes keine continuirliche ist, sondern dass sie gekammert erscheint. Die Höhlung des Halms wird von zahlreichen Gewebeplatten, sogen. Diaphragmen, durchsetzt, welche, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, aus vielarmigen, sternförmigen Zellen bestehen.

Wird ein Querschnitt durch das Internodium eines vegetativen Sprosses von Equisetum arvense hergestellt, so ist schon bei schwacher Vergrösserung die eigenthümliche Anordnung des grünen Parenchyms einer- und der hypodermalen Sklerenchymfaserstränge unter der Epidermis andererseits leicht festzustellen (vgl. Fig. 46). Nach innen folgt grosszelliges Rindengewebe, welches weite Luftlücken, die sog. Vallecularhöhlen, umschliesst. Den Gefässbündelkreis umgiebt eine Endodermis, und jeder Fibrovasalstrang lässt einen Holz- und einen Baststheil deutlich erkennen. Im Holztheil ist ein weiter Intercellulargang, die Carinalhöhle, leicht zu sehen. Es ist endlich noch auf das hohle Mark und auf die relativ engen Intercellulargänge zwischen den Zellen des Rinden- sowie Markgewebes des Equisetumstengels zu achten.

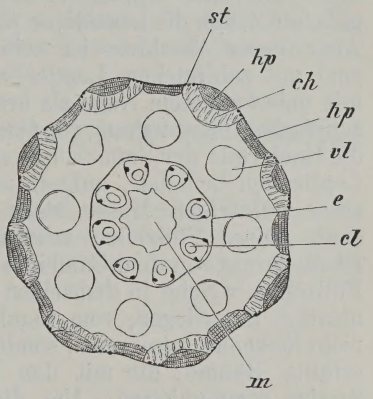


Fig. 46. Querschnitt durch das Internodium eines sterilen Sprosses von Equisetum arvense. *m* Mark, *cl* Carinalhöhle im Gefässbündel, *e* Endodermis, *vl* Vallecularhöhle, *pp* Sklerenchymfaserstrang, *ch* grünes Gewebe, *st* Spaltöffnungsapparat.

Bei mikroskopischer Untersuchung eines zarten Querschnittes durch den Blattstiel von Nymphaea alba erblicken wir eine spaltöffnungsfreie Epidermis und darunter einen Collenchymring. In der peripherischen Region des Blattstiels sind die Gefässbündel in einem Kreise angeordnet; aber es sind auch noch weitere Fibrovasalstränge im Grundgewebe vertheilt. Das Grundgewebe wird ferner von zahlreichen mehr oder minder weiten Luftkanälen durchzogen. In diese letzteren ragen die sternförmig ausgebildeten inneren Haare hinein, von denen jedes einer einzigen an den Kanal grenzenden Grundgewebezelle entspringt [1]).

1) Literatur: DE BARY, Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane etc. 1877, S. 220, und STRASBURGER, Das botanische Praktikum, zweite Auflage, Jena 1887.

63. Die Lenticellen.

Wir untersuchen die Zweige von Sambucus nigra, um uns über das Vorhandensein der Lenticellen, die eine so sehr allgemeine Verbreitung besitzen, zu unterrichten. An Querschnitten, die aus jungen Zweigen hergestellt worden sind, constatiren wir, dass unmittelbar unter der Epidermis hypodermales Collenchym vorhanden ist, das nur an einigen Stellen von dem grünen Rindenparenchym unterbrochen wird, welches an diesen Stellen eben selbst bis zur Epidermis reicht. Das innere Rindengewebe ist seiner Gesammtmasse nach aus grünen Zellen zusammengesetzt und umschliesst den Gefässbündelkreis. Bei der Untersuchung von Querschnitten älterer Sambucuszweige zeigt sich, dass der Pflanzentheil wesentliche Veränderungen erfahren hat. Es ist nämlich dicht unter der Epidermis ein Korkgewebe entstanden, dessen gelblich gefärbte Zellen die lebendigen Gewebe der Rinde nach aussen abschliessen. Aber dieser Abschluss ist kein vollkommener, denn die Sambucuszweige sind mit zahlreichen Lenticellen bedeckt. Dieselben lassen sich schon mit unbewaffnetem Auge als bräunliche Flecken erkennen, und bei mikroskopischer Untersuchung von Querschnitten stellen wir fest (vgl. Fig. 47), dass die Epidermis der Sambucuszweige an denjenigen Stellen, an welchen sich Lenticellen befinden, aufgerissen ist, und dass die letzteren selbst mit einer pulverigen Masse stark gebräunter Zellen (Füllzellen) angefüllt sind. Diese Füllzellen werden bekanntlich ebenso wie die Zellen des Phelloderma von dem Cambium der Lenticellen producirt. Die erwähnten Füllzellen, welche in demselben Maasse, wie sie von aussen der Desorganisation unterliegen, vom Cambium nachgebildet werden, schliessen aber nicht lückenlos zusammen, sondern es befinden sich zwischen ihnen mit Luft erfüllte Räume, die mit den Intercellularen der inneren Gewebe der Zweige communiciren. Um diese Thatsache durch ein physiologisches Experiment festzustellen, befestigt man ein mit Periderm und Lenticellen bedecktes Zweigstück von Sambucus nigra mit Hülfe von Siegellack in dem kürzeren Schenkel eines gebogenen Glasrohres. Die

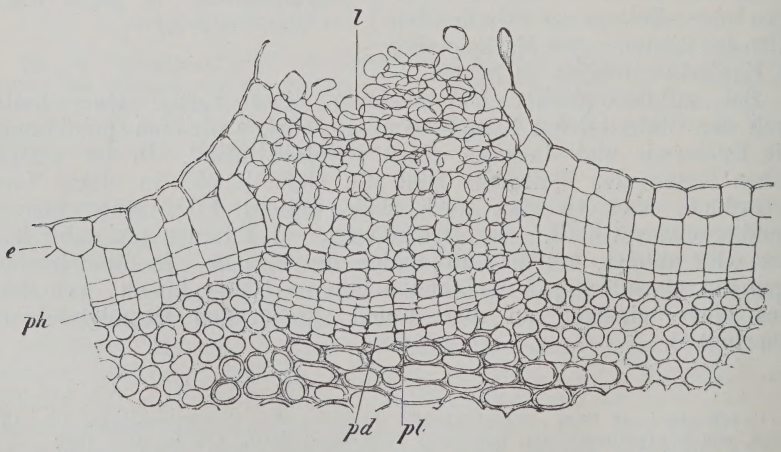


Fig. 47. Querschnitt durch eine Lenticelle von Sambucus nigra. *e* Epidermis, *ph* Phellogen oder Korkcambium, *l* Füllzellen, *pl* Cambium der Lenticelle, *pd* Phelloderma. Vergr. 90. (Nach STRASBURGER.)

Schnittfläche am oberen Ende des Zweiges wird ferner mit Siegellack gut verschlossen, und die Vorrichtung in einen mit Wasser angefüllten Glascylinder gestellt. Giesst man nun Quecksilber in den längeren Schenkel des Glasrohres, so treten alsbald Gasblasen aus den Lenticellen des Untersuchungsobjectes hervor, die sich allmählich ablösen um durch neue ersetzt zu werden. Ich habe derartige Beobachtungen im Winter an Sambucuszweigen gemacht, woraus erhellt, dass die Lenticellen auch zu dieser Jahreszeit nicht verschlossen sind. Bei manchen Pflanzen werden übrigens im Winter dichter zusammenschliessende Füllzellen in den Lenticellen als im Sommer gebildet. Wenn man daher im December und ferner Anfang Juni derartige Versuche, wie sie soeben beschrieben worden sind, mit Zweigstücken von Ampelopsis anstellt, so ergiebt sich, dass im Juni weit leichter als im December grössere Luftmengen durch die Lenticellen gepresst werden können. Die Lenticellen spielen an den mit Periderm bedeckten Zweigen eine ähnliche Rolle wie die Spaltöffnungen an jungen Pflanzentheilen. Sie sind ebenso wie diese für die Durchlüftung der Gewebe von Bedeutung [1]).

64. Die Spaltöffnungen und ihre Bedeutung beim Gaswechsel der Pflanzen.

Ein ganz günstiges Untersuchungsobject für das Studium der Spaltöffnungen ist das Blatt von Iris florentina. Bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte zeigt sich (vergl. Fig. 48), dass die

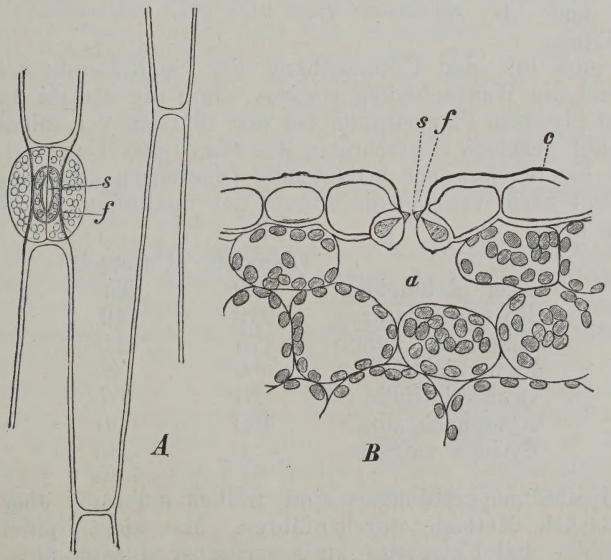


Fig. 48. Epidermis der Blattunterseite von Iris florentina. *A* von oben, *B* im Querschnitt, *f* Grübchen, *s* Spalt, *c* Cuticula, *a* Athemhöhle. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

1) Literatur: Stahl, Botan. Zeitung, 1873, und Klebahn, Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft, Neue Folge, Bd. 10.

Schliesszellen des Spaltöffnungsapparats Chlorophyllkörner enthalten. Der Spalt der Spaltöffnungen und die Athemhöhle unter dem Spalt sind ebenso leicht zu erkennen. Die grübchenartige Vertiefung über den Spaltöffnungen kommt dadurch zu Stande, dass die den Schliesszellen benachbarten chlorophyllfreien Epidermiszellen über die Schliesszellen greifen, dieselben theilweise deckend.

Eine solche vertiefte Lage ist dem Spaltöffnungsapparat der Blätter von Tradescantia virginica, wie die Untersuchung zarter Blattquerschnitte lehrt, nicht eigenthümlich. Dagegen ist es für die Spaltöffnungen von Tradescantia virginica charakteristisch, dass sie fast immer von vier Epidermiszellen, die, wie leicht zu sehen ist, schöne Zellkerne enthalten, umgeben werden. Um dies Verhältniss festzustellen, untersucht man ein Stückchen von der Unterseite des Tradescantiablattes abgezogener Epidermis. Die Blattoberseite ist weit spaltöffnungsärmer als die Blattunterseite (vgl. Fig. 49). Gute Objecte für das Studium des Spaltöffnungsapparats sind auch noch die Blätter von Hyacinthus orientalis und Lilium candidum.

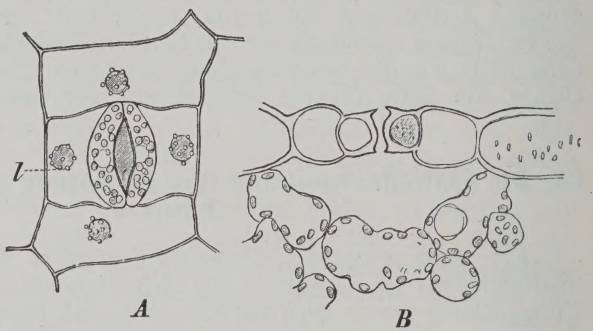


Fig. 49. Epidermis der Blattunterseite von Tradescantia virginica. *A* von oben, *B* Querschnitt. *l* Leukoplasten an den Zellkernen. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Wer sich mit der Untersuchung der Spaltöffnungen beschäftigt, wird alsbald die Wahrnehmung machen, dass die Anzahl der Stomata, welche auf gleichem Flächenraum bei den Blättern verschiedener Pflanzen oder auf gleichem Flächenraum der Ober- und Unterseite desselben Blattes vorhanden ist, sehr bedeutende Differenzen erkennen lässt. So z. B. beträgt nach Weiss[1]) die Anzahl der Spaltöffnungen auf 1 □ mm. Blattfläche bei:

	Oberseite	Unterseite
Acer platanoides	0	550
Brassica oleracea	219	301
Helianthus annuus	175	325
Ficus elastica	0	145
Orchis latifolia	20	67
Nymphaea alba	460	0
Syringa vulgaris	0	330

Die Spaltöffnungszählungen sind freilich mühsam, aber mit Hülfe einer einfachen Methode durchzuführen. Man zieht Epidermisstreifen von der Ober- und Unterseite ausgewachsener Blätter ab, bringt dieselben in einen Wassertropfen auf den Objectträger, legt ein Deckglas auf und bestimmt die Anzahl der im Gesichtsfelde des Mikroskopes zu erblickenden Stomata. Aus einer Reihe solcher Beobachtungen leitet

1) Vgl. Weiss, in Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 4.

man dann die Mittelwerthe ab. Die wirkliche Grösse des Gesichtsfeldes ist leicht festzustellen, indem man den Gesichtsfelddurchmesser mit Hülfe eines Objectivmikrometers ermittelt, um unter Zugrundelegung des erhaltenen Werthes die Fläche des Gesichtsfeldes zu berechnen. Es ist schliesslich nur noch erforderlich, die für die Anzahl der Spaltöffnungen gefundenen Zahlen auf die Flächeneinheit, z. B. 1 □mm. umzurechnen.

Bei der Untersuchung des Spaltöffnungsapparats der Gewächse ist es wichtig einer Eigenthümlichkeit derselben Erwähnung zu thun, die für die Vorgänge des Gaswechsels der Pflanzen und ebenso für den später zu besprechenden Transpirationsprocess grosse Bedeutung besitzt. Der Spalte zwischen den Schliesszellen der Stomata kommt nämlich keineswegs immer die nämliche Weite zu. Man kann leicht constatiren, dass die Spalte einer Spaltöffnung unter bestimmten Umständen mehr oder minder weit geöffnet, unter anderen Verhältnissen aber geschlossen ist. Diese merkwürdigen Erscheinungen haben ihren Grund in Aenderungen des Turgorzustandes der Schliesszellen, sowie der diesen benachbarten Epidermiszellen des Spaltöffnungsapparates, und wir wollen, ohne indessen auf die complicirten Details näher einzugehen, einige Experimente zur Constatirung der Hauptthatsachen anstellen [1]).

Wir untersuchen zunächst einen Flächenschnitt eines am Morgen abgeschnittenen Blattes von Amaryllis formosissima und finden die Spaltöffnungen geöffnet. Benutzen wir hingegen ein halb abgewelktes Blatt derselben Pflanze, so bemerken wir, dass die Spaltöffnungen geschlossen erscheinen. Man thut wohl, die Schnitte bei der Ausführung dieser Beobachtungen trocken zu untersuchen und ihnen erst dann Wasser hinzuzufügen, wenn man sich davon überzeugt hat, dass die Stomata der abgewelkten Blätter geschlossen sind. Der Wasserzutritt führt nun dahin, dass sich die Spaltöffnungen in wenigen Minuten weit öffnen, weil der Turgor der Schliesszellen erheblich zunimmt. Längeres Verweilen der Untersuchungsobjecte im Wasser bedingt aber einen Verschluss der Spalte, indem allmählich auch der Turgor der Epidermiszellen bedeutend wächst, und der Widerstand der Schliesszellen dadurch mehr und mehr überwunden wird.

Aehnlich wie die Spaltöffnungen von Amaryllis verhalten sich diejenigen vieler anderer Gewächse. Dagegen beobachten wir abweichende Verhältnisse bei solchen Pflanzen, für deren Spaltöffnungsapparat die den Schliesszellen benachbarten Epidermiszellen keine hervorragende Bedeutung besitzen. Werden Epidermisstreifen der Blätter von Orchis (ich experimentirte mit O. mascula) abgezogen und zunächst im Wassertropfen untersucht, so ergiebt sich, dass die Spaltöffnungen sich nicht schliessen, sondern geöffnet bleiben. Durch Einlegen der Schnitte in einen auf dem Objectträger befindlichen Tropfen Rohrzuckerlösung lässt sich hingegen ein ziemlich schnell eintretender Verschluss der Spaltöffnungen herbeiführen.

Der Spaltöffnungsapparat vieler Pflanzen reagirt auch auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse. In der Nacht sind z. B. die

---

1) Literatur, über die hier zu besprechenden Erscheinungen: Mohl, Botan. Zeitung, 1856, Schwendener, Monatsberichte d. Berliner Akademie d. Wiss. 1881, und Leitgeb, Mittheilungen d. botan. Instituts zu Graz, Bd. 1. Jena, 1886.

Stomata von Amaryllis formosissima geschlossen. Directes Sonnenlicht öffnet sie weit, und wenn man zunächst hell beleuchtet gewesene Amaryllisexemplare plötzlich verdunkelt, so findet man die Spaltöffnungen nach einigen Stunden geschlossen. Bei Untersuchungen über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf den Spaltöffnungsapparat von Orchis mascula konnte ich keinen wesentlichen Unterschied in der Spaltweite dem Licht ausgesetzt gewesener sowie verdunkelt gehaltener Blätter feststellen, und auch Leitgeb hat kürzlich mit Bezug auf Orchis ein ähnliches Resultat erhalten (vgl. dessen citirte Abhandlung S. 160).

Zu sehr überraschenden Resultaten gelangt man ferner bei Experimenten über den Einfluss des Inductionsstroms auf den Spaltöffnungsapparat. Man zieht einen Epidermisstreifen von der Unterseite eines Blattes ab, dessen Spaltöffnungen sich weit öffnen können. Ich experimentirte mit bestem Erfolg mit Blättern von Orchis mascula, die am Tage abgepflückt waren und einige Zeit in Wasser verweilt hatten. Der Epidermisstreifen gelangt auf den unter 51 beschriebenen und in Fig. 38 abgebildeten Objectträger, welcher für das Studium des Einflusses der Elektricität auf Pflanzenzellen bestimmt ist. Hat man einige Spaltöffnungen unter dem Mikroskop eingestellt und lässt man den Inductionsstrom auf das Untersuchungsobject einwirken, so schliessen sich die Stomata unter dem Auge des Beobachters im Laufe kurzer Zeit.

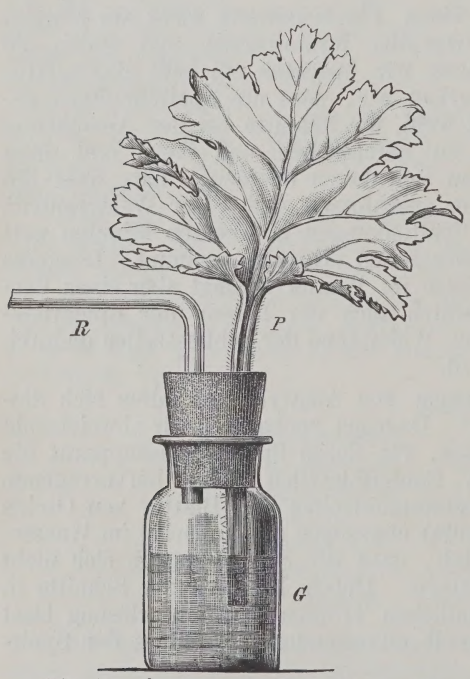


Fig. 50. Apparat zum Nachweis der Wegsamkeit der Spaltöffnungen für Luft.

Es ist sehr lehrreich, Experimente anzustellen, welche beweisen, dass die Spaltöffnungen offen und Ausführungsgänge der Intercellularen sind. Zunächst möge der folgende Versuch unter Benutzung eines unversehrten Blattes von Primula sinensis ausgeführt werden. Es wird dazu der in Fig. 50 dargestellte Apparat benutzt. Das mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossene Glas *G* füllt man halb mit Wasser an. Der eine Schenkel des rechtwinklig gebogenen Glasrohres *R* mündet dicht unter dem Kork; der Stiel des Primulablattes *P* taucht in das Wasser ein. Verdünnt man die Luft im Apparat durch Saugen mit dem Munde, so dringt neue Luft in die Spaltöffnungen des Blattes ein, und dieselbe tritt in Form eines Blasenstromes aus dem unter Wasser befindlichen Blattstielquerschnitt hervor. Experimentirt man mit anderen Blättern, so reicht häufig die durch Saugen mit dem Munde im Apparat erzielte Luftverdünnung nicht hin, um den Austritt von Luft aus dem Blattstielquerschnitt herbeizuführen. Man muss dann, um

eine bedeutendere Evacuation zu erreichen, das Ende des Rohres *R* mit der Luftpumpe in Verbindung setzen.

Man kann aber auch umgekehrt zeigen, dass Luft, die in den Blattstiel eingepresst wird, sich in den Intercellularen fortbewegt und aus den Spaltöffnungen entweicht. Ich benutze auch zu solchen Versuchen z. B. die Blätter von Primula sinensis. Nimmt man den Blattstielquerschnitt in den Mund und bläst man heftig in denselben hinein, so sieht man sich grössere und kleinere Luftblasen von der Blattspreite ablösen, wenn diese unter Wasser taucht. Es tritt nicht etwa, wie man vielleicht erwartet, aus jeder Spaltöffnung ein feiner Blasenstrom hervor, sondern die ausgepresste Luft vereinigt sich zu grösseren Blasen, die sich nun stellenweise von der Blattfläche abheben. Verweilt die Spreite des Primulablattes einige Zeit unter Wasser, so kann man durch einfaches Blasen keine Luft mehr durch das Untersuchungsobject treiben. Die Spaltöffnungen erfahren nämlich allmählich eine Verstopfung durch capillar festgehaltenes Wasser, und sehr schnell erzielt man eine solche bei Primula sinensis auch auf folgende Weise. Man setzt die Lippen an den Blattstielquerschnitt und saugt die Luft aus dem Untersuchungsobject heraus, während die Spreite unter Wasser taucht. Die Stomata und die Intercellularen werden dadurch mit Wasser injicirt, und die Blattspreite erfährt in Folge dessen eine Farbenänderung; sie wird auch durchscheinender. Durch heftiges Blasen vermag man jetzt keine Luft durch das Blatt zu treiben. Um noch specieller den für die Beurtheilung der angeführten Experimente wichtigen Nachweis zu liefern, dass capillar festgehaltenes Wasser im Stande ist, einem nicht unwesentlichen Druck das Gleichgewicht zu halten, stelle man den folgenden Versuch mit Hülfe des in Fig. 51 abgebildeten Apparates an. Der kürzere Schenkel eines gebogenen und einige Mm. weiten Glasrohres wird an seinem Ende zu einer feinen Capillare ausgezogen. Man stellt das Glasrohr nun in einen mit Wasser gefüllten Glascylinder, so dass sich die capillare Oeffnung einige Ctm. unter der Wasseroberfläche befindet und giesst Quecksilber in den langen Schenkel des Rohres, bis eine Druckhöhe von etwa 20 Ctm. erreicht ist. Man sieht aus der Oeffnung des Glasrohres einen feinen Luftstrom hervortreten. Das Quecksilber sinkt im langen Schenkel des Glasrohres mehr und mehr herab, aber wenn nur noch eine Druckhöhe von einigen Ctm. vorhanden ist, so erfolgt kein weiteres Sinken des Quecksilbers, und zugleich hört der Luftstrom auf. Die feine Oeffnung ist capillar mit Wasser verstopft. Dem noch vorhandenen Quecksilberdruck wird durch die capillare Anziehung des Wassers in dem ausgezogenen Theile des Glasrohres das Gleichgewicht gehalten.

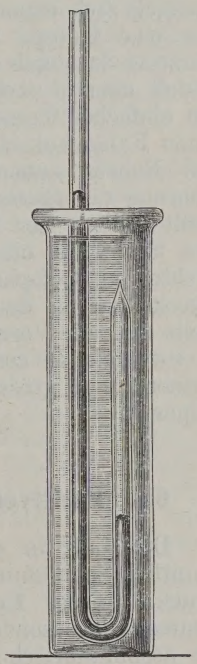


Fig. 51. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit von Capillaren für Luft.

Taucht man die Spreite des Blattes von Caltha palustris oder Nymphaea oder einen Theil des Blattes von Allium Cepa unter Wasser

und bläst in den Blattstiel resp. in das offene Ende des Alliumblattes hinein, so gelingt es auch hier, auf diese einfache Weise Luft durch die Untersuchungsobjecte zu pressen. Die Oberfläche des unter Wasser tauchenden Theiles des Alliumblattes zeigt einen schönen Silberglanz, weil dieselbe mit einer Luftschicht bedeckt ist, welche eine totale Reflexion des Lichtes herbeiführt. Entfernt man an beliebigen Stellen des Blattes die adhärirende Luftschicht durch Streichen mit dem Finger, so nehmen die jetzt benetzbar werdenden Stellen eine grüne Farbe an. Luft tritt jetzt nur da aus dem Blatte hervor, wenn man in das offene Ende desselben hineinbläst, wo die Epidermis noch mit dem silberglänzenden Ueberzuge versehen ist. Von den benetzten Stellen löst sich keine Luftblase los, da die Spaltöffnungen hier durch capillar festgehaltenes Wasser verstopft sind, und der relativ geringe Druck nicht hinreicht, um das Wasser aus den Stomata herauszupressen.

Oft ist es auch bei Experimenten zur Feststellung der Wegsamkeit der Spaltöffnungen für Luft zweckmässig, das folgende Verfahren in Anwendung zu bringen. Man befestigt den unteren Theil eines Blattstieles, der eine unversehrte Spreite trägt, oder eines beblätterten Stengels (ich experimentirte z. B. mit dem Ende eines Camelliasprosses, der eine Knospe und ein Blatt trug) luftdicht in der Oeffnung des kürzeren Schenkels eines gebogenen Glasrohres. Den luftdichten Verschluss erzielt man je nach Umständen auf verschiedene Weise. Häufig genügt ein einfacher Verschluss mit Siegellack; in anderen Fällen nimmt man einen Kautschukschlauch zur Hülfe, oder man verschliesst die Oeffnung des Rohres zunächst mit einem durchbohrten Kork, durch dessen Bohrung der Blattstiel oder der Stengeltheil geführt worden ist, und stellt endlich den luftdichten Verschluss durch sorgfältiges Auftragen von Siegellack oder gelbem Wachs, das mit der Hälfte seines Gewichtes an Colophonium zusammengeschmolzen ist, her. Giesst man Quecksilber in den längeren Schenkel des gebogenen Glasrohres und stellt man die Vorrichtung in einen mit Wasser angefüllten Glascylinder, so entweicht die comprimirte Luft aus den Spaltöffnungen, und es steigen kleinere und grössere Luftblasen von der Blattspreite aus im Wasser empor [1]).

65. Positiver und negativer Gasdruck in den Pflanzen.

Die Luft in den Intercellularen submerser Pflanzen, denen bekanntlich Spaltöffnungen gewöhnlich fehlen, steht häufig unter positivem Druck. Dieser Ueberdruck kann auf verschiedene Weise zu Stande kommen; insbesondere verdient aber mit Rücksicht auf seine Entstehung die assimilatorische Thätigkeit der grünen Pflanzentheile unter dem Einfluss des Sonnenlichts Berücksichtigung. Wenn man Zweige von Elodea in Brunnenwasser der Einwirkung des directen Sonnenlichts aussetzt, so quillt, wie wir unter 11 specieller nachgewiesen haben, ein Blasenstrom aus dem Stengelquerschnitt hervor. Diese Sauerstoffabscheidung hört fast sofort auf, wenn man dem Lichte keinen Zutritt mehr zu den Untersuchungsobjecten gestattet. Werden unversehrte Elodea- oder Ceratophyllumindividuen oder Zweigstücke dieser Pflanzen

1) Mit Bezug auf das hier Gesagte vgl. zumal Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 252.

(ich experimentirte mit Elodeazweigen), deren Schnittfläche man mit Wachs verklebt hat, unter Wasser dem Einfluss des directen Sonnenlichts ausgesetzt, so entweichen keine Gasblasen aus den Untersuchungsobjecten. Der producirte Sauerstoff sammelt sich in den Intercellularen an; er geht nicht in dem Maasse, in welchem er gebildet wird, auf osmotischem Wege in das Wasser über, so dass das Gas in den Intercellularen alsbald unter positivem Druck steht. Wenn man den Stengel der Pflanzen mit Hülfe einer Nadel verletzt, so quillt in der That sofort ein sehr lebhafter, freilich sogleich wieder schwächer werdender Blasenstrom aus der verwundeten Stelle hervor. Wenn man diesen Versuch an Pflanzen wiederholt, die einige Zeit lang im Finstern unter Wasser verweilt haben, so ruft die Verwundung die Abscheidung reichlicherer Gasmengen nicht hervor, da die in Folge der Athmung gebildete Kohlensäure die Druckverhältnisse der Intercellulargase nicht wesentlich beeinflussen kann. Sie ist leicht löslich in Wasser und kann ohne Schwierigkeit auf osmotischem Wege aus den Pflanzen in das dieselben umgebende Medium übergehen. Will man sich noch specieller über das Intercellularsystem von Elodea canadensis orientiren, so gelingt dies leicht bei mikroskopischer Untersuchung von Stengelquerschnitten. Unter der wenig scharf charakterisirten Epidermis liegt das relativ mächtig entwickelte Rindengewebe, das seinerseits das axile Gefässbündel umschliesst. Die Zellen des Rindengewebes lassen kleine Intercellularräume zwischen sich; zudem ist aber in der Rinde noch ein Kreis grösserer Luftkanäle vorhanden.

Die Luft in den Intercellularen kann aber auch unter Umständen geringen negativen Druck besitzen, also verdünnter sein als die atmosphärische Luft. Das Zustandekommen dieses negativen Druckes wird durch verschiedene Umstände herbeigeführt, aber ich will hier nur einen Fall specieller hervorheben. Wenn Baumäste von directen Sonnenstrahlen getroffen werden, so wird zumal ihr Rindengewebe häufig eine höhere Temperatur als die umgebende Luft erlangen. Die Gase in den Intercellularen dehnen sich aus, und wenn Lenticellen vorhanden sind, so entweichen sie durch diese. Die Luft in den Intercellularen ist nun verdünnter als diejenige der Atmosphäre. Das Resultat des folgenden Experimentes ist mit Rücksicht auf das Gesagte lehrreich. Ein mit Lenticellen versehener nicht zu dünner Ast (ich experimentirte mit Aesten von Sambucus von 1—2 Ctm. Dicke und 10 Ctm. Länge) wird an seinen beiden Enden luftdicht mit Siegellack verkittet. Man wirft das Untersuchungsobject nun in Wasser von etwa 30° C. und beobachtet dann, dass Luftblasen aus den Lenticellen entweichen, weil die Gase in den Intercellularen des Pflanzentheils sich in Folge der erheblichen Temperatursteigerung, welche sie erfahren, beträchtlich ausdehnen.

Sehr wichtig und für die Beurtheilung vieler Erscheinungen im Pflanzenleben von grosser Bedeutung ist die Thatsache, dass die Gase in den Elementen des Holzes, zumal zur Zeit starker Transpiration der Gewächse, unter erheblichem negativem Druck stehen. Wir kommen auf diese merkwürdige Erscheinung weiter unten eingehend zurück; zunächst wollen wir einige Verhältnisse ins Auge fassen, welche zu dem Phänomen des negativen Druckes der Holzluft in Beziehung stehen.

Zuerst ist zu bemerken, dass das Korkgewebe an sich, wenn wir von den Lenticellen absehen, selbst bei erheblichem Druck keine Gase

passiren lässt [1]). Ich befestigte einen dünnen Korkquerschnitt, der aus einem kleinen Pfropf mit Hülfe des Rasirmessers hergestellt worden war, luftdicht mittelst Siegellacks auf der Oeffnung des kürzeren Schenkels eines gebogenen Rohres von einigen Mm. Weite. Als in den längeren Schenkel des Glasrohres Quecksilber gegossen wurde, entwich selbst bei erheblichem Ueberdruck keine Luft durch die Korkscheibe, und der Stand des Quecksilbers im Glasrohre war auch nach einiger Zeit noch derselbe, wie bei Beginn des Experimentes.

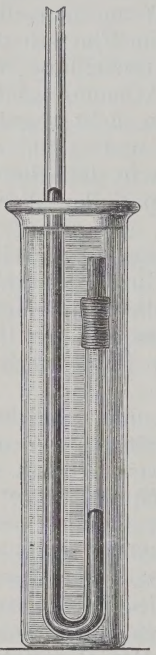


Fig. 52. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit der Gefässe des Holzes für Luft.

Weiter wollen wir hier, bevor wir zur Besprechung des negativen Druckes der Gase in den Elementen des Holzes übergehen, einige Angaben über die Wegsamkeit des Lumens der Holzgefässe sowie der Membranen der Holzelemente für Gase machen. Werden berindete Zweigstücke verschiedener Pflanzen von etwa 6 Ctm. Länge und 8 Mm. Dicke mit Hülfe eines Kautschukschlauches in der Oeffnung des kürzeren Schenkels eines gebogenen Glasrohres befestigt (vergl. Fig. 52), giesst man dann Quecksilber in den längeren Schenkel des Rohres und stellt den Apparat in einen Cylinder mit Wasser, so dass der obere Querschnitt des Zweigendes sich einige Ctm. unter dem Wasserspiegel befindet, so sieht man zahlreiche Luftblasen aus der glatten Schnittfläche hervorquellen, wodurch eben die Wegsamkeit des Lumens der Gefässe für Luft bewiesen wird. Das Quecksilber sinkt mehr und mehr im längeren Schenkel herab, während es im kürzeren steigt, bis die Niveaudifferenz des Quecksilberstandes nur noch etwa einen oder einige Ctm. beträgt. Ist das Quecksilber zur Ruhe gekommen, so hält das von aussen in die Gefässe eingedrungene und in diesen capillar gebundene Wasser dem noch vorhandenen Quecksilberüberdruck das Gleichgewicht. Es ist auch leicht verständlich, weshalb schliesslich ein geringerer Quecksilberüberdruck bestehen bleibt, wenn man das Experiment z. B. mit Vitiszweigstücken anstellt, als wenn man Sambucus-, Prunus- oder Crataeguszweigstücke benutzt. Die Gefässe der ersteren Pflanze sind, wovon man sich leicht durch mikroskopische Untersuchung von Querschnitten überzeugen kann, viel weiter als diejenigen der letzteren Gewächse, und deshalb ist auch der Widerstand des von den Gefässen des Vitiszweiges capillar festgehaltenen Wassers geringer als derjenige, welchen das Wasser, das in die Gefässe der Sambucus-, Prunus- oder Crataeguszweigstücke eingedrungen ist, geltend machen kann [2]).

Viel wichtiger als die angeführten Verhältnisse erscheint nun die Thatsache, dass die Membranen der Holzelemente in hohem Grade

1) Vgl. Wiesner, Sitzungsberichte d. Akademie d. Wiss. zu Wien, 1879, 1. Abthl. Bd. 79, Aprilheft.

2) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 250.

impermeabel für Luft sind, selbst für solche, die unter erheblichem Druck steht [1]). Diese Thatsache ist für die Theorie des negativen Druckes der Holzluft von grosser Bedeutung, ebenso für die Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze, und sie gewinnt auch ein ganz besonderes Interesse, wenn wir sie in Verbindung mit der später zu constatirenden Thatsache bringen, dass dieselbe Holzsubstanz, welche der Luft den Durchtritt so schwer gestattet, der Wasserbewegung fast gar kein Hinderniss entgegensetzt.

Will man sich davon überzeugen, dass die Holzsubstanz in der That sehr schwer permeabel für Luft ist, so thut man am besten, aus frisch gefällten Stämmen von Taxus baccata oder Abies excelsa einige Ctm. lange und etwa fingerdicke Holzstücke, die man den jüngsten Jahresringen entnimmt, herauszuschneiden. Diese Holzstücke werden mit Hülfe eines Kautschukschlauches in dem kürzeren Schenkel einer gebogenen Glasröhre luftdicht befestigt. Man giesst Quecksilber in den längeren Schenkel und stellt die Vorrichtung in einen mit Wasser gefüllten Glascylinder (vgl. Fig. 52). Experimentirt man mit frischen Holzstücken oder noch besser mit frischen Holzstücken, die noch einige Zeit in Wasser gelegen haben, so genügt oft der Druck von 76 Ctm. Quecksilber nicht, um Luft durch die Untersuchungsobjecte zu pressen. Wir werden an anderer Stelle sehen, dass die Tracheiden des Holzes nicht direct mit einander communiciren. Wir werden auch sehen, dass durch die Schliessmembranen der Hoftüpfel der Tracheiden Wasser überaus leicht filtrirt werden kann, während dieselben Luft selbst unter hohem Druck nicht passiren lassen. Wenn man findet, dass mit Hülfe des erwähnten Apparates bei erheblichem oder selbst bei relativ geringem Quecksilberdruck Luft durch Zweigstücke von Coniferen gepresst werden kann — und dies Resultat erhält man wirklich zuweilen —, so deutet dies immer darauf hin, dass im Untersuchungsobject sehr lange Tracheiden (z. B. in der Markkrone) oder Intercellularen vorhanden sind, die ja auch dem Coniferenholz nach Russow nicht völlig fehlen. Als ich z. B. mit einem entrindeten Zweigstück von Taxus baccata von etwa 50 Mm. Länge und 6 Mm. Durchmesser experimentirte, trat bei 20 Ctm. Quecksilberüberdruck Luft aus der oberen Schnittfläche des Zweigstückes hervor, bei 15 Ctm. Quecksilberüberdruck entwich aber keine Luft mehr.

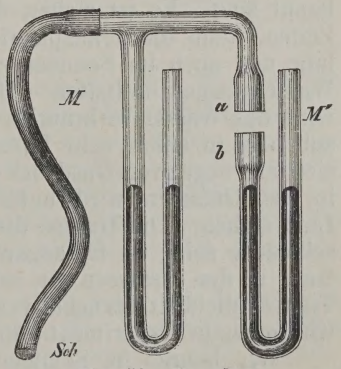


Fig. 53. Poroskop.

Auch mit Hülfe des Poroskops von Christiani kann man zeigen, dass die Tracheiden des Holzes impermeabel für Luft sind, die unter gewissem Druck steht. Der aus Glas gefertigte Apparat ist in Figur 53 dargestellt und besteht, wie man sieht, im Wesentlichen aus zwei Manometern. Wird zwischen *a* und *b* ein entrindetes kurzes Stück eines

1) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2, S. 324, und M. Scheit, Botanische Zeitung, 1884, S. 180.

Zweiges von Taxus oder Abies mit Hülfe von Siegellack luftdicht eingeschaltet, und bläst man nun in das Ende des Schlauches *Sch* hinein, so verändert sich natürlich der Stand des Quecksilbers im Manometer *M* bedeutend, derjenige des Quecksilbers im Manometer *M'* aber nicht, da keine Luft das Holz passirt. Verwendet man gefässreiches Holz dicotyler Pflanzen zum Versuch, so ruft natürlich das Einblasen von Luft sofort eine Aenderung des Quecksilberstandes in beiden Manometern hervor, indem durch die Gefässe eine offene Communication zwischen *a* und *b* hergestellt ist.

Ferner ist die durch das folgende Experiment auch in der Vorlesung zu erweisende Thatsache von Wichtigkeit, dass keine offene Communication zwischen den Gasen der cellularen Lufträume in der Pflanze und denjenigen der Intercellularräume vorhanden ist. Wir experimentiren mit 30 Ctm. langen und 1 Ctm. dicken, mit vielen Lenticellen besetzten Zweigstücken von Cornus mas, Philadelphus und Syringa. Ein Zweigstück wird in dem kürzeren Schenkel eines gebogenen Glasrohres derartig befestigt, dass es bis etwa $^2/_3$ seiner Länge in dieses hineinragt. Vorher hat man diejenige Schnittfläche, welche in das Rohr eingeführt werden soll, luftdicht mit Siegellack verklebt. Man bringt die Vorrichtung nun in einen grossen, mit Wasser angefüllten Glascylinder und giesst Quecksilber in den längeren Schenkel des Rohres. Wendet man keinen zu hohen Quecksilberdruck, etwa 20—30 Ctm., an, so tritt Luft auch am oberen Querschnitt der Untersuchungsobjecte nur aus der Rinde hervor, was eben beweist, dass keine offene Communication zwischen den Intercellularen einer- und den Gefässen andererseits besteht. Steigert man den Quecksilberdruck, so entweicht, zumal nach Verlauf einiger Zeit, ebenfalls Luft aus dem Holzkörper der Untersuchungsobjecte, weil unter solchen Umständen Luft aus den Intercellularen durch die Wände der Holzelemente in diese hineingepresst werden kann, oder wenigstens ein Einpressen von Luft in die nach neueren Untersuchungen auch im Holz nicht völlig fehlenden, freilich sehr engen Intercellularen erfolgt[1]).

Wir gehen nunmehr dazu über, uns specieller mit den Thatsachen bekannt zu machen, die über den negativen Druck der Gefässluft bekannt sind. Es ist sicher, dass die Gefässe des Holzes zu bestimmten Zeiten, wenn die Transpiration der Gewächse gering ist, also im Frühjahr und auch im Sommer zur Nachtzeit, mehr oder minder reichliche Wassermengen enthalten. Bei stärkerer Transpiration der Gewächse wird das Wasser verbraucht, und da, wie wir gesehen haben, die Holzsubstanz in einem sehr hohen Grade impermeabel für Luft ist, so wird sich ein negativer Gasdruck in den Gefässen entwickeln, d. h. die Luft in den Gefässen wird unter geringerem Druck als die atmosphärische Luft stehen. Die Grösse dieses negativen Drucks kann eine sehr verschiedene sein; es ist sogar nicht ausgeschlossen, dass der Druck der Gase in den Gefässen ein sehr unbedeutender wird. Um uns von der Thatsächlichkeit des negativen Drucks der Gefässluft zu überzeugen, stellen wir folgende Experimente an.

Wir bohren im Sommer eine Birke an, befestigen in der bis zur Stammmitte geführten Bohrung den einen Schenkel eines in einem rechten Winkel gebogenen Glasrohres luftdicht und lassen den anderen Schenkel des Rohres in Wasser eintauchen. Wir werden alsbald sehen, dass das Wasser in diesem Schenkel des Rohres emporsteigt.

---

1) Vgl. Höhnel in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissensch. Botanik, Bd. 12, S. 72.

Wir stellen uns einen Apparat zusammen, wie er in Fig. 54 abgebildet ist. Ein abgeschnittener Spross (ich experimentirte mit einem solchen

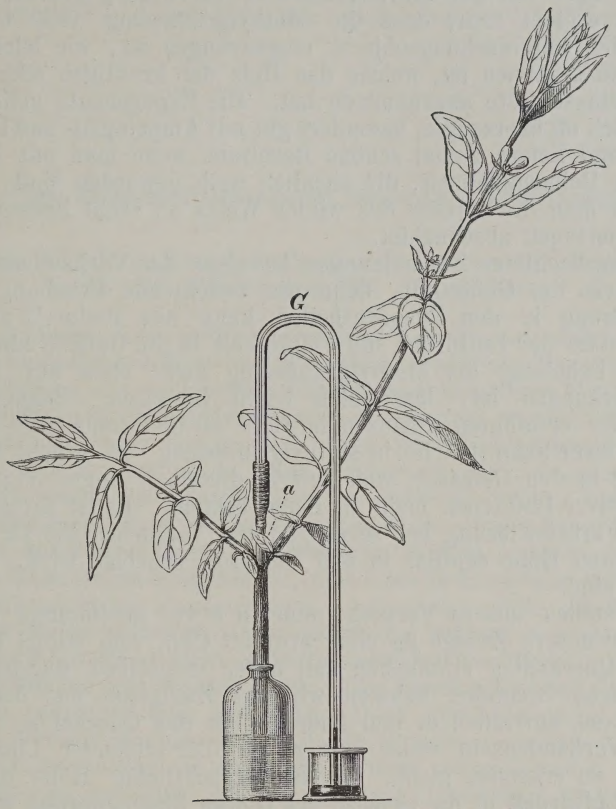


Fig. 54. Apparat zum Nachweis des negativen Druckes der Gefässluft.

von Lonicera) wird mit seiner Basis in Wasser gestellt. Wir bringen nun das gebogene Glasrohr *G* etwa bei *a* mittelst eines Kautschukschlauches in luftdichte Verbindung mit dem Spross und sorgen dafür, dass das Glasrohr mit seinem offenen Ende in Wasser oder Quecksilber eintaucht. In Folge der durch die Transpiration des Sprosses hervorgerufenen Verdünnung der Gefässluft wird die Sperrflüssigkeit, ebenso wie bei der Ausführung des vorigen Experimentes, alsbald in dem Glasrohre emporsteigen.

Zu den ferneren Versuchen verwenden wir Sprosse von Ampelopsis, Phaseolus, Helianthus, Quercus oder Juglans, die aber vor der Hand noch nicht von ihrer Mutterpflanze abgetrennt werden. Die Bohnenpflanzen können in Blumentöpfen zur Entwickelung gelangt sein. Bei Versuchen mit Ampelopsis, Quercus und Juglans prüfen wir das Verhalten mehrjähriger Zweige. Wir biegen dieselben herab, tauchen sie an einer Stelle, die etwa 50 oder 100 Ctm. weit oder noch weiter von der Zweigspitze entfernt ist, in eine wässerige Lösung von Methylgrün und schneiden den Zweig an dieser Stelle unter der Lösung mit einer

Schere ab. Die Schnittflächen verweilen noch kurze Zeit in der Lösung, wir spülen sie dann sorgfältig ab und untersuchen den abgeschnittenen sowie den noch mit der Mutterpflanze in Verbindung stehenden Zweigtheil. Es ergiebt sich, dass die Methylgrünlösung viele Centimeter weit in die Untersuchungsobjecte eingedrungen ist, wie leicht an der Färbung zu erkennen ist, welche das Holz der krautigen oder holzigen Untersuchungsobjecte angenommen hat. Die Experimente gelingen, wovon ich mich oft überzeugte, besonders gut mit Ampelopsis- und Phaseolussprossen und liefern zumal schöne Resultate, wenn man mit in Töpfen cultivirten Bohnenpflanzen, die ziemlich welk geworden sind, arbeitet, oder wenn man die Sprosse des wilden Weins an recht heissen, trockenen Sommertagen abschneidet.

Die beobachteten Erscheinungen beweisen das Vorhandensein negativen Drucks der Gefässluft, denn die bedeutende Erhebung der Methylgrünlösung in den Pflanzentheilen kann nur dadurch zu Stande kommen, dass der Luftdruck die Flüssigkeit in die Gefässe hineinpresst. Dass die Erhebung der Methylgrünlösung nicht etwa nur Folge von Capillarwirkungen ist, lässt sich leicht beweisen. Schneidet man Sprosse der erwähnten Pflanzen in Luft ab und taucht sie dann alsbald mit ihrer Schnittfläche in Methylgrünlösung, so erhebt sich diese nur wenig in den Gefässen, weil Luft in dieselben eingedrungen ist und kein negativer Luftdruck mehr in ihnen besteht. Es ist natürlich, dass sich die Farbstofflösung bei diesen letzten Versuchen bis zu einer um so geringeren Höhe capillar in den Gefässen erheben wird, je weiter dieselben sind.

Wir stellen unsere Versuche nun in etwas modificirter Weise an, indem wir unsere Zweige an einer etwa 50 Ctm. vom Gipfel entfernten Stelle in Quecksilber eintauchen und unter demselben durchschneiden. Nach einigen Secunden nehmen wir das Zweigende aus dem Quecksilber heraus, entrinden es und finden, dass das Quecksilber, wie sich an dem Vorhandensein vieler grauer, parallel laufender Linien schon äusserlich zu erkennen giebt, bis zu beträchtlicher Höhe durch den äusseren Luftdruck in die Gefässe des Holzes hineingepresst worden ist. Taucht man in Luft abgeschnittene Zweige mit ihren unteren Enden einige Centimeter tief in Quecksilber ein, so erhebt sich das Metall gewöhnlich nicht in den Gefässen, weil der Quecksilberdruck meistens einen geringeren Werth als die Capillardepression des Quecksilbers besitzt.

Während es leicht ist, das Vorhandensein des negativen Druckes der Gefässluft überhaupt zu constatiren, ist die Bestimmung der wahren Grösse dieses negativen Drucks mit Schwierigkeiten verbunden[1]). Weitere Untersuchungen wären hier sehr erwünscht.

Recht lehrreich ist noch das folgende Experiment, welches auch bequem in der Vorlesung über Pflanzenphysiologie ausgeführt werden kann. Wir schneiden einen langen Zweig von Ampelopsis in der Luft ab, lassen die Schnittfläche einige Minuten mit der Luft in Berührung und stellen den Spross mit seiner Basis nun in Wasser. Nach 24 Stunden biegen wir eine Stelle des Sprosses, die etwa 10 Ctm. höher als die erste Schnittfläche liegt, in Methylgrünlösung und schneiden sie unter der Flüssigkeit ab. Die Lösung steigt bis zu beträchtlicher Höhe

1) Vergl. Pfeffer, Handbuch d. Pflanzenphysiologie, Bd. 1, S. 109.

in den Gefässen empor, woraus folgt, dass der negative Druck der Gefässluft sich in Sprossen, die in Luft abgeschnitten worden sind, nach Verlauf einiger Zeit unter den bezeichneten Umständen wieder herstellt, eine Erscheinung, deren Ursachen noch genauer ermittelt werden müssen[1]).

V. Die Wasseraufnahme seitens der Pflanzen.

66. Das Condensationsvermögen des Bodens für Wassergas und die Wassercapacität des Bodens.

Ein genaueres Verständniss derjenigen Verhältnisse, welche sich auf die Wasseraufnahme seitens der Gewächse beziehen, kann nur unter Berücksichtigung der wichtigsten Untersuchungsresultate über das Verhalten des Wassers dem Boden gegenüber gewonnen werden. Wir wollen daher zunächst einige Experimente über das Wassergascondensationsvermögen des Bodens sowie seine Wassercapacität anstellen. Etwa 10 Grm. in einem Trockenschranke bei 100° C. völlig vom Wasser befreiter Feinerde (über Gewinnung derselben vergl. unter 24) eines sandigen Bodens einer- und eines thonigen Bodens andererseits werden in flachen Glasschalen ausgebreitet, und diese in einen wassergasreichen, aber, um Thaubildung auszuschliessen, keineswegs völlig mit Wassergas gesättigten Raum gebracht. Man stellt die Schalen mit dem Bodenmaterial z. B. in einen nicht luftdicht verschlossenen Kasten, auf dessen Boden ein Gefäss mit Wasser steht. Den Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Kasten controlirt man mit Hülfe eines Psychrometers. Ermittelt man nach Verlauf längerer Zeit (12—48 Stunden) wiederholt das Gewicht der Bodenproben, so findet man, dass sie an Gewicht zugenommen haben. Es ist unter den bezeichneten Umständen Wassergas von ihnen condensirt worden, und zwar hat die thonige, aus sehr feinen Partikelchen bestehende Feinerde mehr Wasser verdichtet als die Feinerde des sandigen Bodens, weil die Theilchen jener ersteren eine grössere Gesammtoberfläche als diejenigen der letzteren besitzen.

Was die Bestimmung der Wassercapacität des Bodens anbelangt, so ist zunächst zu betonen, dass die älteren und seither gewöhnlich in Anwendung gebrachten Methoden zu gar keinen zuverlässigen Resultaten führen, da sie denjenigen Verhältnissen, welchen der Boden in der Natur ausgesetzt ist, fast gar keine Rechnung tragen. A. Mayer hat die Mängel der älteren Methoden zuerst klar erkannt, und nach ihm ist bei Bestimmung der Wassercapacität des Bodenmaterials das folgende Verfahren einzuschlagen.

Ein Zinkgefäss mit Siebboden, den man mit feiner Leinwand belegt hat, von 25 □ Ctm. Grundfläche und 20 Ctm. Höhe (welches also $^1/_2$ Liter Erde fasst) wird unter Aufstossen auf eine weiche Unterlage zunächst halb

1) Die Verhältnisse, welche sich auf den negativen Luftdruck in den Gefässen beziehen, sind zumal von Höhnel, Wissenschl.-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, herausgegeben von Haberlandt, Bd. 2, S. 89 u. 120, sowie von Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2, S. 168, untersucht worden.

mit dem zu untersuchenden lufttrockenen Bodenmaterial oder der Feinerde desselben angefüllt, wobei darauf zu achten ist, dass man die Erde in kleinen Portionen in den Zinkkasten einbringt, um eine gleichmässig dichte Zusammenlagerung der Erdtheilchen zu bewirken. Dann giesst man Wasser auf, bis dieses unten abtropft; alles ohne zu wiegen. Ist das überschüssige Wasser verschwunden, so bestimmt man das Gewicht des Apparats, füllt denselben unter Beachtung der schon erwähnten Vorsichtsmaassregeln bis zum Rande mit trockener Erde an, wiegt abermals, giesst Wasser auf und ermittelt das Gewicht des Apparats nach dem Abtropfen des überschüssigen Wassers. Man kann nun leicht die Wassermenge feststellen, welche die zuletzt in den Kasten eingefüllte Bodenmenge festzuhalten vermag. Die erhaltene Zahl wird auf das Volumen des Bodens umgerechnet. Zu dem Ende stellt man das scheinbare specifische Gewicht oder Volumgewicht des trockenen Boden- oder Feinerdematerials fest, indem man ein 100 Ccm. haltendes Gefäss unter Aufstossen auf eine weiche Unterlage mit dem Bodenmaterial anfüllt und wiegt. Ist das Volumgewicht eines Bodens z. B. = 1,3 (dasjenige des Wassers = 1 gesetzt), so braucht man diejenige Zahl, welche die Wassercapacität des Bodens in Gewichtsprocenten desselben ausdrückt, nur mit 1,3 zu multipliciren, um die Wassercapacität auf 100 Volumtheile der Erde zu berechnen.

Die nach der erwähnten Methode gefundenen Zahlen drücken die kleinste oder absolute Wassercapacität des Bodens aus, und bei vergleichenden Untersuchungen tritt zumal die Thatsache klar hervor, dass thonige und humose Erden viel mehr Wasser als sandige festzuhalten vermögen.

Die ältere Methode zur Bestimmung der Wassercapacität des Bodens, bei deren Ausführung man das Untersuchungsmaterial auf einen Trichter brachte, mit Wasser sättigte, und nach dem Abtropfen des überschüssigen Wassers die Menge der vom Boden zurückgehaltenen Flüssigkeit ermittelte, lieferte Resultate von geringem Werth, weil das erwähnte Verfahren den natürlichen Verhältnissen zu wenig Rechnung trug. In der Natur enthalten für gewöhnlich nur die feinsten Capillaren des Bodens Wasser. Diese Wassermenge muss bei der Bestimmung der Wassercapacität vor allem ermittelt werden, und aus leicht begreiflichen Gründen ist das mit Hülfe der neuen Methode in vollkommenerem Grade als mit Hülfe der alten möglich[1]).

67. Weitere Beobachtungen über das Verhalten des Bodens zum Wasser.

Zur Untersuchung des durch Capillarwirkungen bedingten Wasseraufsaugungsvermögens des Bodens werden Glasröhren von 30 Ctm. Länge und 1—2 Ctm. Weite, die an ihrem unteren Ende mit Leinwand verschlossen sind, unter gelindem Aufklopfen nach und nach mit der Feinerde der zu prüfenden Bodenmassen oder mit diesen selbst angefüllt. Man taucht die Apparate mit ihrem unteren Ende 2 Ctm. tief in Wasser

1) Vgl. A. Mayer, Lehrbuch der Agriculturchemie, 3. Aufl., 2. Abtheil., S. 140. Ferner vgl. Detmer, Lehrbuch d. Bodenkunde, 1876, S. 277, und E. Wolff, Anleitung zur Untersuchung bodenwirthschaftl. wichtiger Stoffe, 1875, S. 64. Weitere Literatur findet man in den citirten Schriften.

ein und überlässt sie tagelang sich selbst. Von Zeit zu Zeit stellt man fest, bis zu welcher Höhe das Wasser sich erhoben hat, und wird finden, dass die Flüssigkeit im thonreichen Bodenmaterial freilich zunächst langsamer, aber schliesslich doch zu beträchtlicherer Höhe als im sandigen Bodenmaterial emporsteigt.

Will man constatiren, wie schnell und bis zu welcher Tiefe Wasser, welches von oben her mit lufttrockenen Bodenmassen in Berührung gelangt, in dieselben eindringt, so füllt man die erwähnten Glasröhren abermals und giesst in jede eine 4 oder 6 Ctm. hohe Wasserschicht auf das Bodenmaterial. Die anzustellenden Beobachtungen ergeben sich von selbst [1]).

68. Die Wasseraufnahme seitens der Wurzeln aus dem Boden.

Die einzelnen Partikelchen des Bodens sind in mehr oder minder feuchtem Zustande desselben mit Wasserhüllen umgeben. Man kann sich vorstellen, dass diese letzteren die Bodenelemente in concentrischen Schichten umgeben, und es leuchtet ein, dass die Bodentheilchen die ihnen direct anliegenden Wassermoleküle energischer festhalten werden als die mehr peripherisch gruppirten. In der That ist dies der Fall, wie der folgende Versuch lehrt. Wir cultiviren eine Bohne in einem Blumentopfe. Die Pflanze wurzelt in guter Gartenerde, und die Vorrichtung wird, wenn die Primordialblätter der Bohne eine beträchtliche Grösse erreicht haben, in einen Raum gestellt, in welchem sie vor directem Sonnenlicht geschützt ist und nur schwach transpiriren kann. Wir führen dem Boden von jetzt ab kein Wasser mehr zu, so dass die Pflanze langsam welken muss. Wenn das Untersuchungsobject sehr welk geworden ist, entnehmen wir dem Boden an Stellen, die von vielen Wurzeln durchzogen sind, kleine Proben von einigen Grm. Gewicht und bestimmen den Wassergehalt durch Trocknen bei 100° C. genau. Ich fand bei Versuchen, die freilich nicht mit Phaseolus, sondern mit Cucurbita angestellt wurden, dass die benutzte humose Gartenerde nach eingetretenem Welken der Pflanze noch über 15 % Wasser enthielt, und man sieht also, dass ein Theil des Bodenwassers von den Erdtheilchen sehr festgehalten wird. Die Pflanzen welken unter den bezeichneten Umständen eben deshalb, weil die Wurzeln dies fest gebundene Wasser nicht schnell genug und nicht in hinreichender Menge aufnehmen können, um die Transpirationsverluste zu decken [2]).

Lehrreich ist es ferner, kleine Bodenmengen von einigen Grm. Gewicht, die man dem Blumentopfe nach eingetretenem starken Welken der Versuchspflanzen entnommen hat, in einen wassergasreichen Raum, in dem aber Thaubildung ausgeschlossen ist, zu bringen und auf ihr Verhalten unter diesen Umständen zu prüfen. Man thut am besten, die gewogenen Erdproben in kleinen Schälchen nebst einem Wasser enthaltenden Gefäss und einem Psychrometer unter einen Kasten zu stellen. Die Luft im Kasten ist offenbar sehr wassergasreich, und das Quecksilber im trockenen Thermometer des Psychrometers wird daher

1) Vgl. die unter 66 citirten Schriften.

2) Vgl. Detmer in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. 1 und Journal f. Landwirthschaft, 27. Jahrgang. Daselbst ist auch die Literatur angegeben und sind weitere Verhältnisse der Wasseraufnahme seitens der Wurzeln besprochen.

auch nur einen wenig höheren Stand als dasjenige des feucht gehaltenen Thermometers besitzen. Trotz dieses hohen Wassergehaltes der die Bodenproben umgebenden Luft stellt sich heraus, dass dieselben kein Wasser durch Condensation binden; im Gegentheil sie verlieren noch Feuchtigkeit durch Verdunstung. Wir haben unter 66 gesehen, dass allerdings trockener Boden Wassergas zu condensiren im Stande ist, aber dieses Wassergasverdichtungsvermögen des Bodens besitzt für die Vegetation im Allgemeinen keine Bedeutung, da die meisten Gewächse, wie unsere Experimente lehren, schon zu Grunde gehen, wenn der Boden noch so viel Wasser enthält, dass sein Condensationsvermögen für Wassergas selbst unter sehr günstigen Umständen noch gar nicht zur Geltung kommen kann.

69. Die Wasseraufnahme seitens der Blätter.

Die Frage nach der Wasseraufnahme seitens der Blätter beansprucht kein hohes physiologisches Interesse; trotzdem mag dieselbe hier kurz berührt werden. Beim Eintauchen der Lamina vieler Blätter (Brassica, Zea oder Aristolochia Sipho etc.) in reines Wasser erscheinen die Pflanzentheile von einer silberglänzenden Schicht überzogen, die nur dort, wo grössere Blattnerven verlaufen, unterbrochen ist. Nimmt man die Blätter aus dem Wasser heraus, so überzeugt man sich, dass lediglich die Cuticula über den Blattnerven sowie eventuell vorhandene Haare eine Benetzung erfahren haben. Die Cuticula über dem Mesophyll ist in Folge ihres mehr oder minder erheblichen Wachsreichthums nicht benetzbar und daher selbst nach der Berührung mit dem Wasser trocken. Der erwähnte Silberglanz rührt von einer Luftschicht zwischen dem Blattgewebe und dem Wasser her, wodurch das Licht eine totale Reflexion erfährt. Bei längerem Verweilen der Blätter unter Wasser wird die Oberfläche derselben benetzbar, und dann verschwindet auch der Silberglanz [1]). Bei solchem längeren Verweilen der Blätter unter Wasser kann die Flüssigkeit ohne Zweifel durch die Cuticula (aber auch auf anderem Wege) in das Innere der Pflanzentheile eindringen. Werden gewogene Blätter bei Abschluss des Lichts mit der Spreite in Wasser getaucht, während der Blattstielquerschnitt, den man zweckmässig mit etwas Wachs verkittet hat, unbenetzt bleibt, so ergiebt sich in der That, dass die nach einiger Zeit aus der Flüssigkeit entfernten und sehr vorsichtig mit Fliesspapier abgetrockneten Blätter jetzt ein höheres Gewicht als zu Beginn des Versuchs besitzen. Natürlich kann dies nur eintreten, wenn man mit Blättern experimentirt, deren Zellen nicht von vornherein das höchste Maass von Turgescenz erkennen lassen. Ich erhielt besonders günstige Resultate, wenn ich Blätter von Coffea arabica oder Syringa vulgaris kürzere Zeit (3 Stunden) oder längere Zeit (etwa 20 Stunden) mit der Spreite in Wasser tauchte, und wenn die abgeschnittenen Blätter vor Ausführung der Versuche 2 Stunden lang an einem schattigen Ort verweilt hatten, und somit nicht zu wasserreich waren [2]).

---

1) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, S. 159.

2) Vgl. Detmer in Wollny's Forschungen, Bd. 1, Heft 2, und Journal f. Landwirthschaft, 27. Jahrgang, S. 105.

70. Einige Bewegungserscheinungen an Pflanzentheilen, die mit der Wasseraufnahme derselben im Zusammenhang stehen.

Recht interessante Erscheinungen in Folge der Wasseraufnahme zeigen die inneren Blätter des Involucrums von Carlina acaulis, einer Pflanze, die auf trockenem, kalkreichem Boden wächst. Wird der gesammte Blüthenstand benetzt, so legen sich die sämmtlichen inneren Involucralblätter zusammen (vgl. Fig. 55); Austrocknung ruft wieder Ausbreitung der Blattgebilde hervor (vgl. Fig. 56). Die Involucralblätter besitzen silberweisse Farbe; nur der mittlere Theil ihrer Unterseite ist braun gefärbt. Wird diese braun erscheinende Region eines einzelnen aus dem Blüthenstande der Carlina entfernten Involucralblattes mit Wasser benetzt, so tritt sogleich eine Bewegungserscheinung an demselben hervor, und die Unterseite des Blattes ist alsbald convex gekrümmt. Wir stellen auch feine Querschnitte durch den mittleren Theil eines Involucralblattes her und constatiren das Folgende. Auf der Ober- sowie Unterseite ist eine Epidermis vorhanden. Die Epidermiszellen der Unterseite sind braun gefärbt. Die Hauptmasse des Gewebes zwischen den Epi-

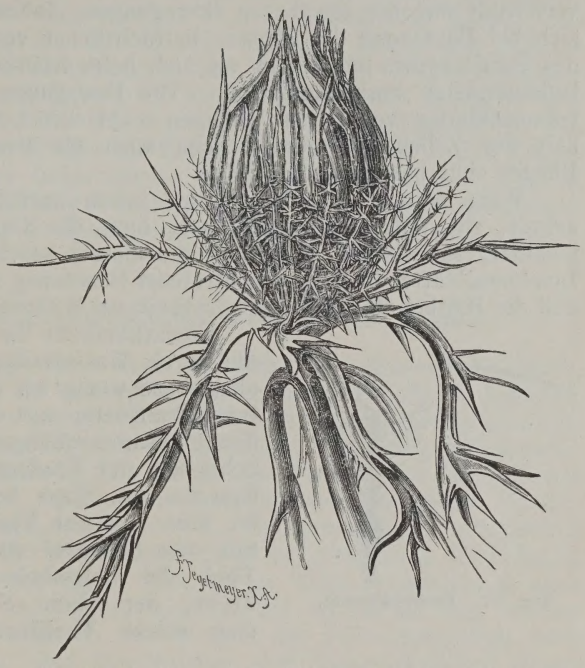


Fig. 55. Carlina acaulis, Blüthenstand mit geschlossenem Involucrum.

Fig. 56. Carlina acaulis, Blüthenstand mit ausgebreitetem Involucrum.

dermislagen wird vom Parenchym gebildet, das von einigen Gefässbündeln durchzogen ist. Das Parenchym grenzt auf der Unterseite nicht direct an die Epidermis, sondern zwischen beiden ist eine Sklerenchymschicht vorhanden, die aus etwa 3 Lagen stark verdickter, lückenlos zusammenschliessender Zellen besteht. Dieses Sklerenchym vermittelt nun die erwähnten Bewegungen, indem die Zellen desselben sich bei Benetzung der Blätter beträchtlicher verlängern als diejenigen des Parenchyms, und indem sie sich beim Austrocknen der Blätter am bedeutendsten zusammenziehen. Die Bewegungserscheinungen der Involucralblätter von Carlina hängen nicht direct mit der Lebensthätigkeit der Zellen zusammen; denn auch die trockenen, abgestorbenen Blätter sind bewegungsfähig [1]).

Wenn man Carlinapflanzen an ihrem natürlichen Standorte beobachtet, so stellt man leicht fest, dass die Carlinablüthenstände bei feuchter, regnerischer Witterung geschlossen erscheinen, indem sich die Involucralblätter in Folge eingetretener Benetzung zusammengelegt haben, und die Blüthen dadurch vor nachtheiligen Witterungseinflüssen schützen.

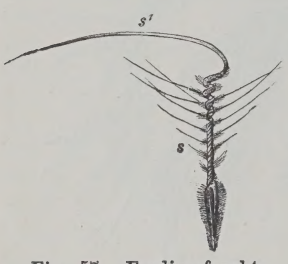


Fig. 57. Erodiumfrucht.

Eigenthümliche Bewegungserscheinungen, die durch Wasseraufnahme bedingt werden, aber ebensowenig wie diejenigen der Carlina-Involucralblätter mit dem Leben der Zellen direct zusammenhängen, lassen sich an den Schnäbeln der Erodiumfrüchte sowie an den Grannen von Stipa beobachten. In Fig. 57 ist eine trockene Theilfrucht von Erodium mit dem Schnabel dargestellt. Der untere Theil des Schnabels S ist schraubig gedreht, der obere S^1 nicht. Wir legen eine solche Theilfrucht kurze Zeit lang

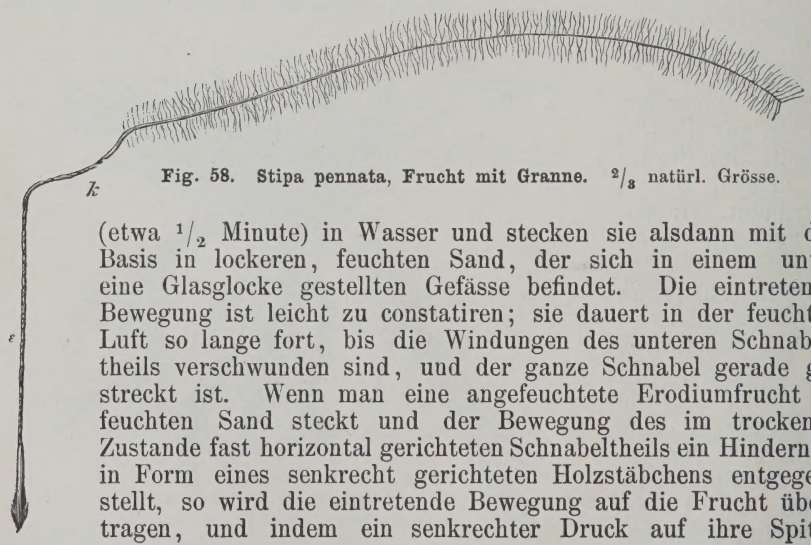


Fig. 58. Stipa pennata, Frucht mit Granne. $^2/_3$ natürl. Grösse.

(etwa $^1/_2$ Minute) in Wasser und stecken sie alsdann mit der Basis in lockeren, feuchten Sand, der sich in einem unter eine Glasglocke gestellten Gefässe befindet. Die eintretende Bewegung ist leicht zu constatiren; sie dauert in der feuchten Luft so lange fort, bis die Windungen des unteren Schnabeltheils verschwunden sind, und der ganze Schnabel gerade gestreckt ist. Wenn man eine angefeuchtete Erodiumfrucht in feuchten Sand steckt und der Bewegung des im trockenen Zustande fast horizontal gerichteten Schnabeltheils ein Hinderniss in Form eines senkrecht gerichteten Holzstäbchens entgegenstellt, so wird die eintretende Bewegung auf die Frucht übertragen, und indem ein senkrechter Druck auf ihre Spitze

1) Vgl. Detmer, Journal für Landwirthschaft, 27. Jahrgang, S. 110, und Räthay, Sitzungsberichte der Akadem. d. Wiss. zu Wien, B. 83.

hinzukommt, wird sie in den Boden eingeschraubt. In der Natur graben sich die Erodiumfrüchte in der That vermittelst des eigenthümlichen Bewegungsvermögens ihrer Schnäbel in den Boden ein.

Fig. 58 stellt die Frucht sammt Grannen von Stipa dar. Der untere Theil der Granne *(s)* ist im trockenen Zustande schraubenförmig gewunden. Der Grannentheil *k* ist zwischen zwei Knieen eingeschlossen und trägt die mit Haaren besetzte Fahne der Granne. Diese Fahne ist horizontal gerichtet, und wenn das Untersuchungsobject unter dieselben Verhältnisse wie eine Erodiumfrucht gebracht wird (vgl. oben), so bewirkt die Wasseraufnahme unter Zurückwinden des schraubigen Theils der Granne ein Einbohren der Frucht in den Boden. Die Ursachen der hier besprochenen Bewegungserscheinungen sind in gewissen Structurverhältnissen bestimmter Zellen der schraubenförmig gewundenen Theile der Erodium- und Stipafrüchte zu suchen.

71. Die Wasseraufnahme der Früchte und Samen.

Es kommt häufig vor, dass saftreiche Früchte (Steinfrüchte, Beeren), die sich noch in Verbindung mit ihrer Mutterpflanze befinden, bei regnerischem Wetter aufreissen. Diese Erscheinung ist insbesondere Folge der unter den bezeichneten Verhältnissen fast völlig aufhörenden Transpiration der Pflanzen. Die Zellen des Parenchyms der Früchte turgesciren sehr stark, es kommen Spannungsverhältnisse im Fruchtgewebe zur Geltung (namentlich wird die Epidermis einer energischen Dehnung ausgesetzt), und schliesslich erfolgt das Aufreissen der Früchte. Bei dem Zustandekommen dieser Erscheinung kann nebensächlich auch ein anderes Moment mitwirken, nämlich die Aufnahme von Wasser seitens der Früchte, wodurch der Turgor der Parenchymzellen noch mehr gesteigert wird. Zur Constatirung der Thatsächlichkeit dieser Wasseraufnahme werden unversehrte Kirschen oder Weinbeeren genau gewogen, derartig in Wasser gelegt, dass der Fruchtstiel aus der Flüssigkeit hervorragt, und nach 4—8 stündigem Verweilen in derselben sorgfältig abgetrocknet. Abermalige Wägung ergiebt gewöhnlich eine nicht unwesentliche Gewichtszunahme der Untersuchungsobjecte.

Wir legen einige Weizenkörner in Wasser. Nach etwa 12 Stunden ist der Quellungsprocess bereits sehr weit fortgeschritten, und die Körner sind weich geworden. Die dünne das Weizenkorn umgebende Schale lässt das Wasser leicht in das Innere desselben eindringen. Wollen wir uns über den anatomischen Bau der Frucht- sowie Samenschale des Weizens orientiren, so stellen wir die erforderlichen Querschnitte nicht aus einem Korn her, das bereits völlig aufgequollen ist, denn ein solches lässt sich sehr schlecht schneiden. Wir benutzen vielmehr Körner, die nicht zu lange mit Wasser in Contact gewesen sind, und behandeln die möglichst dünnen Schnitte vor der Beobachtung mit Kalilauge. Diese ruft eine starke Quellung der Gewebe hervor, wodurch die Structurverhältnisse der Frucht- und Samenschale ziemlich deutlich werden (vgl. Fig. 59). Die Fruchtschale besteht aus der cuticularisirten Epidermis *ep*, einer Parenchymschicht *e* und einer weiteren sich an diese anschliessenden Zellschicht, deren Elemente tangential gestreckt erscheinen, *chl.* Die Samenschale besteht aus mehreren Zellschichten, aber die zellige Structur der äusseren Lagen *ii* ist auf dem Querschnitt nicht gehörig zu erkennen, und dieselben präsentiren sich der Hauptsache nach

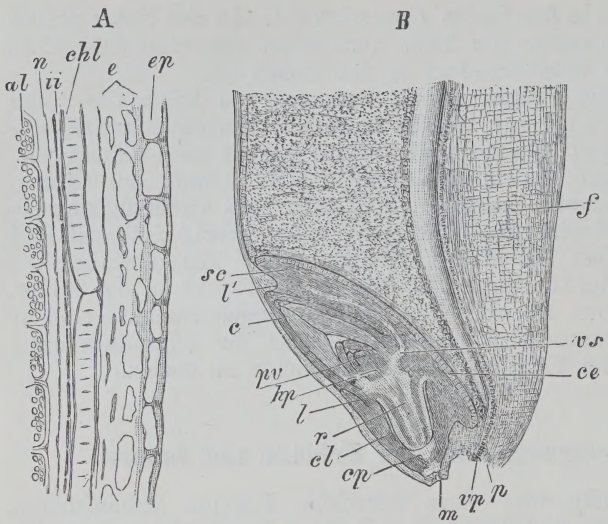


Fig. 59. Triticum vulgare. *A* Querschnitt durch die Frucht- und Samenschale. An dieser *ep* die Epidermis, *e* an die Epidermis grenzende Schichten, *chl* die Chlorophyllschicht; diese alle gehören zur Fruchtwandung. *ii* die aus dem inneren Integument hervorgegangene Hülle, *n* die äusserste verdickte Schicht des Nucellus; diese zusammen bilden die Samenschale. *al* die Aleuronschicht des Endosperms. Vergr. 240. *B* medianer Längsschnitt durch den unteren Theil einer reifen Frucht. In dieser links unten der Keim mit dem Scutellum *sc*, *l'* der Ligula am Scutellum, *vs* seinem Gefässbündel, *ce* seinem Cylinderepithel, *c* dem Scheidentheil des Cotyledons, *pv* dem Stammvegetationskegel, *hp* dem hypocotylen Gliede, *l* der Ligula an demselben, *r* der Radicula, *cp* der Wurzelhaube der Radicula, *cl* der Wurzelscheide; *m* Austrittsstelle der Radicula, der Mikropyle der Samenknospe entsprechend, *p* der Fruchtstiel, *vp* Gefässbündel desselben, *f* Seitenwandung der Frucht. Vergr. 14. (Nach STRASBURGER.)

nur als braun gefärbter Streifen. Die innerste Schicht *n* der Samenschale, welche direct unter dem erwähnten braunen Streifen liegt, besteht aus wasserhellen Zellen. Die Samenschale umschliesst das Endosperm und den Embryo. Auf diese Theile des Weizenkornes kommen wir später zurück. Es sei hier nur erwähnt, dass die unmittelbar unter der Samenschale liegende Endospermschicht (Kleberzellschicht) aus einer einfachen Lage fast quadratischer Zellen besteht, die, was freilich bei der Untersuchung mit Kalilauge behandelter Schnitte nicht zu sehen ist, nur Proteinkörner enthalten. Es folgen darauf die mehr oder minder stärkereichen Gewebemassen des Endosperms.

Wir stellen Querschnitte des Samens von Lupinus luteus her. Am besten benutzen wir Samen, die in Folge von Wasseraufnahme bereits etwas aufgequollen sind, und untersuchen die Schnitte in Wasser und Aetzkalilösung. Die Cuticula ist ziemlich mächtig entwickelt und von einem körnigen Ueberzuge (Wachsmasse) bedeckt. Unser besonderes Interesse beansprucht die Epidermis, welche aus langen, radial zur Samenoberfläche gestellten Pallisadenzellen besteht. Die Wände dieser Zellen sind sehr stark verdickt. Die Pallisadenzellen führen einen braunen Farbstoff, der aber nur in bestimmten Gruppen der Epidermiszellen vorhanden ist, was das gefleckte Aussehen der Samen bedingt. Unter der Epidermis beobachten wir eine einfache Lage säulenförmiger Zellen, die sehr weite Intercellularräume zwischen sich lassen und radial gegen die Samenoberfläche gerichtet sind. Es folgt nun eine in Aetzkali stark aufquellende Zellschicht, die aus mehreren Lagen tangential gestreckter Zellen besteht. An diese schliessen sich die stark zusammengedrückten Reste des Endosperms an, und schliesslich sehen wir noch das Gewebe der Cotyledonen.

Werden viele Lupinensamen, vielleicht 100 Stück, in Wasser geworfen, so findet man, dass nach Verlauf längerer Zeit, z. B. 24 Stunden oder gar 8 oder 14 Tagen, noch keineswegs sämmtliche Individuen in den gequollenen Zustand übergegangen sind. Diese Schwerquellbarkeit, der eine erhebliche biologische Bedeutung zukommt, ist ausser den Lupinensamen vielen anderen Samenspecies eigenthümlich und wird in unserem Falle dadurch bedingt, dass die Zellen der noch vollkommen intacten Pallisadenschicht der Samenschale in Folge besonderer Eigenthümlichkeiten ihrer Membranen sehr schwer permeabal für Wasser sind. Verletzt man die Pallisadenschicht eines Samens von Lupinus, so quillt er stets in Contact mit Wasser leicht auf[1]).

Die Samen von Pisum sativum gehören zu den leicht aufquellenden, wovon man sich überzeugen kann, wenn man das Untersuchungsmaterial mit Wasser in Berührung bringt. Die Testa von Pisum hat in ihrem Bau manche Aehnlichkeit mit derjenigen von Lupinus. Wir ziehen die Samenschale von den aufgequollenen Samen ab, falten sie zusammen und stellen zarte Querschnitte her, die wir in Aetzkali untersuchen. Auf die Pallisadenschicht folgt auch hier die Säulenschicht, dann ein aus vielen Zelllagen bestehendes Parenchym, dessen Elemente tangential gestreckt erscheinen, und endlich die Reste des zusammengedrückten Endosperms.

Die Quellung der meisten Samen wird durch den Imbibitionsprocess, sowie durch osmotische Vorgänge vermittelt. Bei einigen Samen, z. B. denjenigen von Linum usitatissimum, wird der Verlauf der Quellung noch dadurch beschleunigt, dass dieselben in Contact mit Wasser einen Schleim austreten lassen, der das Wasser sehr energisch anzieht und festhält. In der That umgiebt sich jeder Leinsame, den wir mit Wasser in Berührung bringen, sofort mit einer Schleimhülle. Wir stellen recht zarte Querschnitte aus trockenen Leinsamen her und bringen dieselben in Alkohol auf den Objectträger. Nun lassen wir, während wir beobachten, Wasser vom Deckglasrand aus zu dem Object treten. In dem Moment, in welchem das Wasser mit dem Schnitt in Berührung gelangt, quellen die Zellen der Epidermis der Samenschale sehr stark auf und lassen den bisher in ihrem Innern vorhandenen Schleim austreten. Die Epidermiszellen sind, wie man jetzt leicht sieht, radial gegen die Samenoberfläche gerichtet. Auf die übrigen Zellschichten der complicirt gebauten Samenschale von Linum wollen wir hier nicht näher eingehen[2]).

72. Weitere Experimente über den Quellungsprocess der Samen.

Die Wassermengen, welche verschiedene in den völlig gequollenen Zustand übergegangene Samenarten aufgenommen haben, sind keineswegs die nämlichen. Die Quellungscapacität der Samen ist also eine verschiedene. Man bestimmt das Gewicht einiger lufttrockener Weizenkörner und Erbsensamen. Die Untersuchungsobjecte gelangen nunmehr in Wasser und verweilen in demselben 24 Stunden. Nach dieser Zeit trocknet man die Samen gut ab, um ihr Gewicht abermals zu er-

1) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft, 27. Jahrg., S. 119.

2) Ueber den Bau von Samenschalen vgl. zumal Sempolowski's Dissertation, Leipzig 1874. Daselbst ist auch die wichtigste Literatur zusammengestellt.

mitteln, legt sie wieder in Wasser und bestimmt nach Verlauf von 6 Stunden ihr Gewicht aufs Neue. Eventuell müssen noch mehrfache Wägungen ausgeführt werden, aber auf jeden Fall wird sich als Resultat des Versuchs herausstellen, dass, wenn das Gewicht der Untersuchungsobjecte keine wesentlichen Veränderungen mehr erfährt, die Erbsensamen viel mehr Wasser im völlig gequollenen Zustande als die Weizenkörner enthalten. Erbsensamen nehmen bei der Quellung etwa 100, Weizenkörner nur 40—60 Gewichtsprocent Wasser auf.

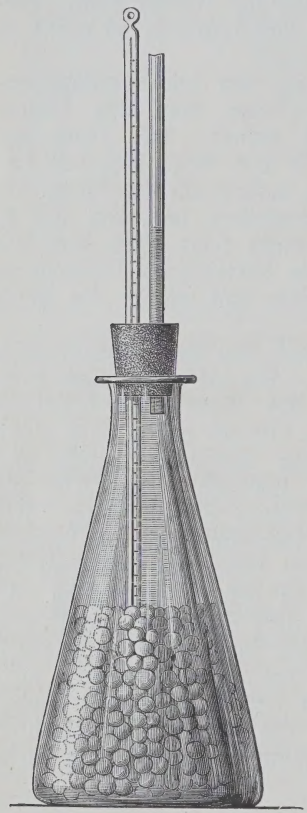


Fig. 60. Apparat zur Beobachtung von Quellungserscheinungen.

Bei Benutzung vieler Samen (z. B. Bohnen, Erbsen) zu Quellungsversuchen lässt sich die Thatsache sofort constatiren, dass das Volumen der gequollenen Untersuchungsobjecte weit grösser als dasjenige der lufttrockenen ist. Wir können uns aber auch die Frage vorlegen, ob das Volumen einer gegebenen Samenmenge und einer gegebenen als Quellflüssigkeit dienenden Wassermenge in seiner Gesammtheit in Folge der Quellung Veränderungen erfährt. Das folgende Experiment kann zur Beantwortung dieser Frage ausgeführt werden. Wir benutzen den in Fig. 60 abgebildeten Apparat. In einen Kolben von ca. 600 Ccm. Capacität bringen wir 300 Grm. Erbsen (ich experimentirte mit weissen Riesenerbsen). Der Kolben wird dann völlig mit Wasser angefüllt und sofort mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossen. Durch die eine Bohrung führen wir ein Thermometer, durch die zweite ein gerades Glasrohr (Steigrohr) von 0,5 Ctm. Durchmesser ein. Der Stand des Wassers in letzterem kann bei Beginn des Versuchs und ebenso im Verlauf desselben von 5 zu 5 Minuten leicht mit Hülfe eines Millimetermaassstabes festgestellt werden, und man wird die Beobachtung machen, dass sich das Wasser im Steigrohr zunächst höher und höher erhebt. Dies Steigen dauert $^3/_4$, zuweilen auch $1\,^1/_2$ Stunden, dann sinkt das Wasser im Steigrohr kurze Zeit oder unter Umständen auch einige Stunden, um schliesslich wieder zu steigen. Bei genauen Versuchen ist auch der Einfluss der Temperaturverhältnisse auf den Wasserstand im Steigrohre zu berücksichtigen.

Wenn Samen mit Wasser in Contact gelangen und in Folge dessen Imbibitionsvorgänge zur Geltung kommen, so muss eine Verdichtung des in die Samen eindringenden Wassers eintreten. Ein solcher Process würde aber zu einer Gesammtvolumenverminderung der Samen und des Wassers führen. Davon ist aber in unserem Experimente nichts zu sehen, vielmehr erhebt sich das Wasser bei Beginn des Versuchs rapide im Steigrohr; es tritt also eine Gesammtvolumenzunahme der Samen und der Quellflüssigkeit deutlich hervor. Die Ursachen, welche diese

bedingen, beeinflussen den Wasserstand im Steigrohr also auf jeden Fall in überwiegendem Maasse, und sie sind in einer bei Beginn der Quellung der Erbsensamen eintretenden Faltung der Testa zu suchen. Diese hebt sich von den Cotyledonen der Samen ab; es entstehen mit verdünnter Luft erfüllte Hohlräume zwischen den Keimblättern und der Samenschale, so dass das Gesammtvolumen der Samen und des Wassers zunehmen muss. Wenn man Erbsensamen, deren Testa man verletzt hat, in unserem Apparat mit Wasser in Berührung bringt, so kommt in der That, wie ich fand, das Steigen des Wassers im Steigrohre während der ganzen ersten Versuchsperiode nicht zu Stande.

Während der zweiten Versuchsperiode sinkt das Wasser im Steigrohre; es macht sich eine Gesammtvolumenabnahme der Samen und des Wassers geltend, die auf ein Eindringen von Wasser in Hohlräume der Samen zurückgeführt werden muss. Auf die Ursachen, welche dem erneuten Steigen des Wassers im Steigrohr während der dritten Versuchsperiode zu Grunde liegen, gehe ich hier nicht näher ein. Darüber und ebenso über das Verhalten anderer quellender Samen in der hier in Rede stehenden Beziehung ist meine citirte Schrift zu vergleichen [1]).

73. Die Wasseraufnahme der Moose.

Die Moose besitzen keine eigentlichen Wurzeln, sondern Rhizoide. Um diese Organe genauer kennen zu lernen, wählen wir Bryum caespiticium, ein Moos, das häufig auf Mauern angetroffen wird. Mit Hülfe eines Wasserstrahles wird die den Pflanzen anhaftende Erde möglichst entfernt, der untere Theil eines Stämmchens abgeschnitten, auf den Objectträger gebracht und beobachtet. Es zeigt sich, dass aus dem Stämmchen lange, mehrzellige, recht breite, braun gefärbte Fäden hervorgehen, die vielfach feinere Zweige besitzen und nur an ihren Enden farblos sind. Die Scheidewände zwischen den einzelnen Zellen erscheinen schief gestellt, also eine Ausnahme von der sonst so allgemeinen Regel der rechtwinkeligen Schneidung. Den Rhizoiden, mit denen wir es hier zu thun haben, kommt vor allem die Aufgabe zu, die Moospflanze im Boden zu befestigen. Als wasseraufnehmende Organe besitzen sie, wenigstens bei vielen Moosen, eine nur untergeordnete Bedeutung.

Wird ein Rasen von Hylocomium triquetrum in feuchtem Zustande in eine flache, Wasser enthaltende Schale gestellt, so trocknen die oberen Theile der Pflanzen alsbald aus. Dieser Versuch lehrt, dass im Innern der Moospflanzen keine energische und ausreichende Wasserleitung wie im Organismus der höheren Gewächse stattfindet. Beobachtet man die im Wasser liegenden Hylocomiumrasen genauer, wenn die Enden der Pflanzen trocken sind, so findet man übrigens eine ziemlich lange, über dem Wasserspiegel liegende Partie der einzelnen Stämmchen feucht. Das Wasser wird also von den Moospflanzen bis zu einer gewissen Höhe emporgehoben, und zwar sind es Capillarkräfte, welche dies vermitteln. Das Wasser steigt in den engen Hohlräumen, welche zwischen dem Stämmchen und den

1) Vgl. Detmer: Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses der Samen, Jena, 1880, S. 71.

diesem dicht angeschmiegten Blättern vorhanden sind, bis zu bestimmter Höhe empor, aber es müssen natürlich alle Theile der Moospflanzen austrocknen, welche durch diese äussere Wasserleitung nicht mehr mit Feuchtigkeit versorgt werden können. Wird ein kräftiger Zweig von Hylocomium triquetrum zwischen Fliesspapier gut abgetrocknet und dann mit seiner Basis oder Spitze in die Lösung eines Anilinfarbstoffes eingetaucht (ich benutzte eine wässerige Lösung von Methylanilinviolett), so beobachtet man leicht, dass die Flüssigkeit in der That bis zu einer gewissen Höhe capillar emporsteigt. Werden von anhaftender Erde befreite Rasen von Hylocomium- oder Hypnumspecies im lufttrockenen Zustande gewogen, vielleicht 10 Minuten lang unter Wasser getaucht, auf eine schräg gestellte Glasplatte gelegt, damit das überschüssige Wasser abtropft, und nun abermals gewogen, so ergiebt sich, dass sie das Mehrfache ihres ursprünglichen Gewichts an Wasser zurückzuhalten vermögen. Das Resultat dieses Experimentes ist im Stande, uns eine Vorstellung davon zu geben, wie gross die Wassermengen sind, welche der Moosrasen im Walde capillar festzuhalten vermag, und in der That spielen die Moose, wie hier nicht specieller auseinandergesetzt werden kann, eine wichtige Rolle als Regulatoren der Feuchtigkeitsverhältnisse vieler Gegenden.

Untersucht man Querschnitte aus dem Stämmchen von Hylocomium triquetrum, so findet man das ganze Gewebe aus Zellen zusammengesetzt, deren Wände eine gelblichbraune Farbe besitzen und stark verdickt sind. Das Lumen der peripherischen und ebenso dasjenige weniger central gelegener Elemente (die letzteren bilden die Andeutung eines Centralstranges) ist viel enger als das Lumen der übrigen Zellen. Für solche Moose, welche keinen oder einen nur schwach entwickelten, bekanntlich aus sehr lang gestreckten Zellen zusammengesetzten Centralstrang besitzen, kommt wesentlich nur die äussere Wasserleitung durch Capillarität in Betracht. Dagegen scheint ein entwickelter Centralstrang die Möglichkeit zu einer ausgiebigeren inneren Wasserleitung zu bieten, und Versuche, welche man mit Polytrichum angestellt hat, bestätigen dies. In der That ist bei Polytrichum ein wohl ausgebildeter Centralstrang im Stämmchen vorhanden, wovon man sich bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte überzeugt, und als ich einige Stämmchen von Polytrichum formosum dicht neben einander mit ihrem unteren Ende in Wasser stellte, blieben auch die oberen Blätter der Pflanzen frisch. In diesem Zustande stehen die Polytrichumblätter vom Stamme ab, während sie sich beim Austrocknen demselben nach oben anlegen.

Ein besonderes Interesse beansprucht auch noch die Art und Weise, in der die Sphagnumarten Wasser von aussen aufnehmen und die aufgenommene Flüssigkeit festhalten. Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse mögen hier übrigens einige Andeutungen bezüglich des Baues der Blätter der erwähnten Pflanzen genügen. Wir unterziehen Blätter von Sphagnum acutifolium der mikroskopischen Untersuchung. Die grünen, röthlichen oder intensiv roth gefärbten Rasen dieses Mooses sind leicht aufzufinden, und jedes entwickelte Blatt besteht aus chlorophyllhaltigen Zellen, die zu einem Netzwerk mit einander verbunden sind, und aus nicht mehr lebensthätigen Wasser oder Luft enthaltenden, farblosen Zellen, welche zwischen den grünen Zellen liegen und deren ringförmig oder spiralig verdickte Membranen mit wirklichen Löchern

versehen sind. In diese Löcher dringt das Wasser leicht von aussen in die Zellen ein und wird von denselben festgehalten, so dass ein Sphagnumrasen schon aus diesem Grunde ähnlich wie ein Schwamm im Stande ist, bedeutende Wassermengen festzuhalten [1]).

VI. Die Wasserbewegung in den Pflanzen.

74. Constatirung der Erscheinung des Wurzeldrucks.

Handelt es sich darum, den Nachweis zu liefern, dass in den Pflanzenzellen in Folge osmotischer Vorgänge und der Turgorverhältnisse Druckkräfte entstehen können, welche im Stande sind, den Zellsaft durch die Membranen der Zellen zu pressen, so dass er z. B. in die Gefässe des Holzes gelangt, so ist es bequem, die Phänomene, die durch den Wurzeldruck verursacht werden, zunächst näher ins Auge zu fassen. Kräftige, in Blumentöpfen erwachsene Individuen von Cucurbita, Helianthus, Ricinus, Begonia oder in Blumentöpfen gut angewurzelte Weidenstecklinge werden decapitirt, d. h. der Stengel der Pflanzen wird in einer Höhe von einigen Centimetern über der Erde durchschnitten. Ueber den aus der Erde hervorragenden Stengelstumpf wird jetzt ein kurzer Kautschukschlauch (Fig. 61 *k*) gezogen, der mit einem Glasrohr (Steigrohr [*st*]) in Verbindung gebracht worden ist. Der Kautschukschlauch wird über dem Stengelstumpf sowie über der Glasröhre zur Herstellung eines luftdichten Verschlusses mit Bindfaden oder, was viel bequemer ist, mit Gummischnur festgebunden, und das Glasrohr dicht über dem Schlauche mit einer Marke (*m*), die man mit Hülfe einer Glasfeile leicht herstellen kann, versehen. Füllt man das Glasrohr bis zur Marke mit Wasser an, so beobachtet man, wenn die Untersuchungsobjecte vor Einleitung der Experimente nicht stark transpirirt hatten, und wenn der Boden, in welchem sie wurzeln, reichliche Wassermengen enthält, dass das Flüssigkeitsniveau im Glasrohr alsbald steigt. Zur Constatirung des Saftausflusses aus den Stengelstümpfen kann man auch die folgende Einrichtung treffen. Auf den Stengelstumpf der decapitirten Pflanze wird mit Hülfe eines kurzen Kautschukschlauchs ein t-förmiges Glasrohr aufgesetzt. Den vertikalen Arm desselben verschliesst man am oberen Ende mit einem Kork, während der horizontale

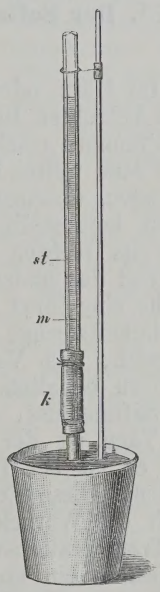


Fig. 61. Apparat zu Experimenten über den Wurzeldruck.

1) Ueber Wasseraufnahme d. Moose vgl. OLTMANNS, Strassburger Inaugural-Dissertation, 1884.

Arm des t-förmigen Rohres mit einem Abflussrohr in Verbindung gesetzt wird, dessen nach abwärts gerichteter Schenkel in einen Messcylinder hineinreicht. In diesem letzteren sammelt sich der von der Pflanze ausgeschiedene Saft an. Um die Druckgrösse zu bestimmen, welche der aus Stammstümpfen ausfliessende Saft geltend zu machen im Stande ist, wird, wie es Fig. 41 zeigt, anstatt des Abflussrohres ein mit Quecksilber gefülltes Manometer an das t-förmige Rohr angebracht. In das t-förmige Rohr wird Wasser gegossen und bei *a* ein Kork mit einem zu einer Capillare ausgezogenen Glasrohr (*b*) eingesetzt. Die Spitze der Capillare muss so abgeschmolzen werden, dass im Apparate keine Luft zurückbleibt.

Wenn man Pflanzen in derjenigen Weise, wie es im Vorstehenden angegeben worden ist, behandelt, so zeigt sich, dass manche Untersuchungsobjecte nur einige Tage lang Saft ausfliessen lassen. Ich habe aber andererseits oft beobachtet, dass der Saftausfluss länger als eine Woche fortdauern kann. Werden Pflanzen decapitirt und beobachtet man nun ihr Verhalten ohne Weiteres, so findet man, dass der Saft aus dem Holzkörper, zumal den Gefässen desselben, hervortritt.

75. Der Saftausfluss aus im Freien wachsenden verletzten Bäumen.

Im März oder Anfang April bringe man am Stamm einer noch nicht belaubten Birke ein Bohrloch an, welches ungefähr bis zur Mitte des Stammes reicht. Bei den von mir angestellten Versuchen wurden die 7 Mm. weiten Bohrlöcher in einer Höhe von etwa 40 Ctm. über dem Erdboden, woselbst die Bäume einen Umfang von ungefähr 40 Ctm. besassen, hergestellt. In das Bohrloch wird das Ende des einen Schenkels eines im rechten Winkel gebogenen Glasrohres luftdicht eingekittet, während der andere Schenkel in eine auf dem Erdboden stehende Glasflasche eingeführt ist. Unter Umständen fliesst sofort eine bedeutende Flüssigkeitsmenge aus dem Baume aus; auf jeden Fall ist es aber sehr lehrreich, das Verhalten der Pflanzen mehrere Wochen hindurch im Auge zu behalten. Wasserzufuhr zum Boden durch Regen begünstigt den Saftausfluss, wenn die Temperatur nicht erheblich gesunken ist. Am Tage ist der Saftausfluss gewöhnlich geringer als in der Nacht, oder er ist bei Tage gar nicht und nur während der Nachtzeit vorhanden. Diese Erscheinung hat ihre Ursache darin, dass am Tage der durch die Wurzeln in den Stamm hineingepresste Saft zur Deckung des Transpirationsverlustes der Pflanze dient, wohingegen zur Nachtzeit mindestens ein Theil des Saftes ausfliessen kann, da jetzt die Wasserverdunstung durch die herrschenden äusseren Bedingungen in der Regel sehr herabgedrückt wird. Schreitet die Jahreszeit weiter vor und entfalten sich die Blätter der Birke, so hört der Saftausfluss völlig auf; die Transpirationsgrösse des Baums hat jetzt einen hohen Werth erreicht. Verdunstet man Birkensaft, so erhält man einen Rückstand, der aus organischen Stoffen und Mineralstoffen besteht. Von der Gegenwart der letzteren überzeugt man sich leicht, wenn man Birkensaft in einer Platinschale zur Trockne bringt und den Rückstand nun zur Zerstörung der organischen Stoffe glüht. Die Mineralstoffe bleiben zurück. Die Reaction des frischen Birkensaftes ist eine schwach saure. Beim Kochen des Saftes scheidet sich ein Coagulum von Eiweissstoffen ab.

Wird eine kleine Menge des Saftes mit einigen Tropfen Schwefelsäure versetzt und unter Ersatz des verdunstenden Wassers gekocht, so erhält man eine Flüssigkeit, die, in heisse FEHLING'sche Lösung eingetragen, eine Abscheidung von Kupferoxydul hervorruft. Der rohe Saft enthält nämlich Rohrzucker, der durch das Kochen mit Schwefelsäure in reducirend wirkenden Traubenzucker übergegangen ist [1]).

76. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf den Saftausfluss aus decapitirten Pflanzen.

Kräftige, in Blumentöpfen zur Entwicklung gelangte Exemplare von Cucurbita, Helianthus, Ricinus oder Begonia werden decapitirt und der Stammstumpf mit einem Steigrohre in Verbindung gebracht. Die Erde in den Blumentöpfen darf nicht übermässig feucht sein, und nachdem ein Thermometer in den Boden eingesenkt, dieser mit Stanniol belegt und der aus der Erde hervorragende Stengeltheil mit Stanniol umwickelt worden ist, werden die Untersuchungsobjecte in ein Zimmer, in welchem eine recht constante Temperatur herrscht, oder in einen Thermostaten gebracht. Wenn der Boden in den Blumentöpfen die Temperatur der Umgebung angenommen hat, beginnt die Beobachtung. Es wird notirt, wie gross der Saftausfluss z. B. in der Stunde ist. Nach mehrstündigem Versuch wird die Erde, in der die Pflanzen wurzeln, stark begossen, und wenn die Temperaturverhältnisse sich ausgeglichen haben, aufs Neue der stündliche Saftausfluss ermittelt. Derselbe ist jetzt in Folge des grossen Wasserreichthums des Bodens viel erheblicher als früher.

Die nämlichen Untersuchungsobjecte können auch dazu benutzt werden, um festzustellen, dass die Temperaturverhältnisse von wesentlichem Einfluss auf den Saftausfluss sind. Die Erde, in der die Pflanzen wurzeln, wird bei Beginn der Versuche stark begossen, die Temperatur im Thermostaten aber von Zeit zu Zeit variirt, um nach jedesmaligem Temperaturausgleich (d. h. wenn der Boden die Temperatur der Umgebung angenommen hat) mit den Beobachtungen über die Grösse des Saftausflusses zu beginnen. Bei 16° C. fliesst mehr Flüssigkeit in der Zeiteinheit (z. B. in einer Stunde) als bei 12° C. aus. Bei 20° C. ist der Saftausfluss erheblicher als bei 16° C. Nach meinen Beobachtungen liegt das Temperaturoptimum für den Saftauftrieb von Cucurbita Melopepo bei etwa 26° C. Noch höhere Temperatur deprimirt die Grösse der Flüssigkeitsausscheidung, und dieselbe hört bei einer Temperatur von 43° C. gänzlich auf.

Bei zahlreichen pflanzenphysiologischen Untersuchungen, z. B. auch bei denen, von welchen soeben die Rede war, kommt es darauf an, die Beobachtungsobjecte längere Zeit constanten Temperaturverhältnissen auszusetzen. Dies kann unter Benutzung von Thermostaten erzielt werden, denen man je nach Bedürfniss verschiedene Einrichtungen giebt. Ich wandte bei meinen Arbeiten über den Wurzeldruck den folgenden Apparat an (vgl. Fig. 62) [2]). Auf einem Dreifuss steht ein aus Zinkblech gefertigtes Gefäss von 21 Ctm. Höhe und 20 Ctm. Durchmesser.

---

1) Vgl. DETMER, Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks, Jena, 1877, S. 30.

2) Vgl. DETMER, Beiträge zur Theorie d. Wurzeldrucks, in PREYER's Sammlung physiologischer Abhandlungen, Bd. 1, Heft 8, S. 31.

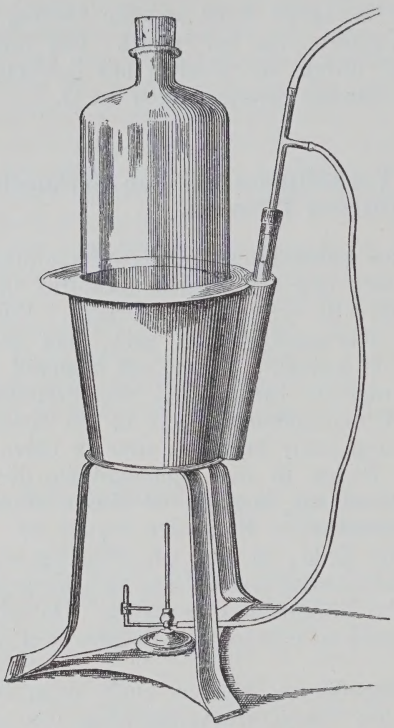


Fig. 62. Thermostat.

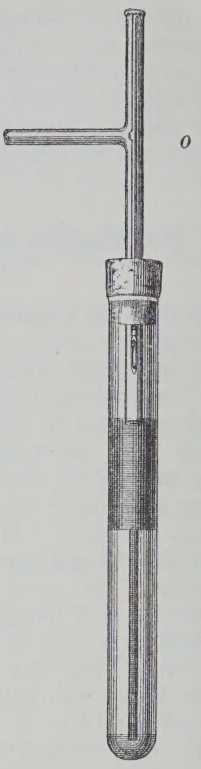


Fig. 63. Thermoregulator.

Dieses Gefäss wird so weit mit Wasser angefüllt, dass die Flüssigkeit, wenn man in den ersten Zinkblechbehälter einen zweiten hineinsetzt, der etwas kleinere Dimensionen als jener besitzt und oben mit einem 3 Ctm. breiten Rande versehen ist, zwischen den Wandungen der beiden Gefässe bis fast zum Rande emporreicht. Auf den zusammengestellten Apparat wird eine Glasglocke gesetzt. Das äussere Gefäss ist nun noch mit einem röhrenartigen Ansatze versehen, der dazu dient, den Thermoregulator aufzunehmen, welcher in Figur 63 abgebildet ist. Der Regulator besteht zunächst aus einem Probirgläschen, welches Quecksilber enthält. In dem durchbohrten Kork des Probirgläschens steckt ein 14 Ctm. langes Glasrohr, an dessen oberem Theile ein horizontal gerichtetes Glasrohr angeschmolzen ist. Im Innern des ersteren Rohres ist noch ein weiteres Glasrohr angebracht, welches an einer Stelle, nämlich bei *o*, mit einer sehr feinen seitlichen Oeffnung versehen und am unteren Ende schief abgeschnitten ist. Der Thermoregulator steht nun einerseits mit der Gasleitung, andererseits mit dem unter dem Thermostaten aufgestellten Gasbrenner, der es gestattet, selbst noch sehr kleine Flammen zu benutzen, in Verbindung. Durch die kleine Oeffnung des Regulators bei *o* kann continuirlich eine gewisse Gasmenge aus der Leitung zum Brenner strömen. Ebenso findet das Leuchtgas seinen Weg durch das an seinem unteren Ende schief ab-

geschnittene Glasrohr. Steigt die Temperatur im Apparat nach erfolgter Einstellung des Regulators aber zu sehr, so dehnt sich das Quecksilber im Regulator beträchtlich aus, und das untere Ende des schief abgeschnittenen Glasrohres wird mehr oder minder verschlossen. Der Gaszufluss zum Brenner wird geringer, und die Temperatur im Apparat sinkt; eine zu erhebliche Temperaturabnahme im Apparat kann aber, wie leicht ersichtlich ist, nicht erfolgen. Unter vielen Verhältnissen ist es sehr nützlich, zwischen die Gasleitung und den Thermoregulator noch einen Druckregulator einzuschalten, um sich von den Druckschwankungen in der Gasleitung unabhängig zu machen. Die Untersuchungsobjecte, z. B. in Blumentöpfen cultivirte Pflanzen, werden auf einen Untersatz in den inneren Zinkblechbehälter gestellt. Ein Thermometer steckt in dem Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln; ein anderes kann nöthigenfalls durch den Kork, der den Tubulus der Glasglocke verschliesst, in diese eingeführt werden. Häufig dürfte es erwünscht sein, dem Thermostaten grössere Dimensionen zu geben, als sie oben verzeichnet wurden. Auch ist es für viele Beobachtungen zweckmässig, an dem breiten Rande des inneren Zinkblechbehälters des Thermostaten Haken anzubringen, auf denen die Glasglocke ruht, damit eine reichliche Durchlüftung des Apparates nicht ausgeschlossen bleibt. Thermostaten, Thermoregulatoren, Gasdruckregulatoren und Gasbrenner sind in verschiedener Construction und Grösse, sowie zu verschiedenen Preisen von Dr. H. Rohrbeck, Firma: J. F. Luhme & Co., Berlin NW., zu beziehen.

Wenn es bei physiologischen Untersuchungen nur darauf ankommt, die Temperaturverhältnisse einige Zeit lang annähernd constant zu erhalten, so ist auch der folgende Apparat bequem zu verwenden, der ebenfalls bei Mangel eines Gewächshauses gute Dienste leistet, wenn es sich darum handelt, im Winter, zumal bei kalter Witterung, Keimpflanzen etc. schnell zur Entwicklung zu bringen. Der auf einem festen Gestell ruhende Thermostat stellt einen grossen, aus starkem Zinkblech gefertigten Kasten mit doppelten Wänden dar. Die Höhe des Kastens beträgt etwa 60 Ctm.; ebenso seine Breite und Tiefe. Der Zwischenraum zwischen den doppelten Wänden des Apparates kann 3—4 Ctm. weit sein. Er wird mit Wasser angefüllt, das man durch eine Oeffnung am oberen Theile des Kastens eintreten lässt, während sich am unteren Theile desselben ein Hahn zum eventuell erforderlichen Abfluss des Wassers befindet. Die doppeltwandige Decke des Kastens ist noch mit einer zur Aufnahme eines Thermometers dienenden Oeffnung versehen. Die vordere Wand des Kastens wird, wie noch bemerkt werden muss, von einer Doppelthür gebildet. Die Heizung des Apparats geschieht mittelst einer unter demselben angebrachten Gasflamme.

Die Thermostaten stellt man natürlich, wenn irgend möglich, in Räumen auf, deren Temperaturen schon an und für sich möglichst geringen Schwankungen unterliegen. Im Sommer benutzt man nach Norden gelegene Räume; im Winter solche, die mittelst guter Füllöfen geheizt werden können.

77. Die Periodicität des Wurzeldrucks.

Etwa 2 Monate alte in Blumentöpfen cultivirte Individuen von Cucurbita Melopepo oder aus Knollen erwachsene 2 Monate alte Indi-

viduen von Helianthus tuberosus[1]) oder geeignete Exemplare von Prunus Laurocerasus werden decapitirt. Die Stammstümpfe bringt man nun mit einer der unter 74 beschriebenen Vorrichtungen in Verbindung, bedeckt den Erdboden in den Blumentöpfen mit Stanniol, um denselben vor erheblichem Wasserverlust zu schützen, führt ein Thermometer in den Boden ein und stellt die Untersuchungsobjecte in einen Raum von möglichst constanter Temperatur, eventuell in einen Thermostaten. Ermittelt man nun, wie gross die Saftmengen sind, welche die Untersuchungsobjecte zu verschiedenen Tageszeiten in der Zeiteinheit (z. B. in je einer oder je zwei Stunden) ausscheiden, so findet man, dass die Pflanzen, trotz gleichbleibenden äusseren Verhältnissen, nicht immer die nämlichen Flüssigkeitsmengen liefern. Der Saftausfluss ist bei Cucurbita und Helianthus kurz nach Mittag am lebhaftesten, während Prunus Laurocerasus nach meinen Beobachtungen erst gegen Abend das Maximum der Flüssigkeitsausscheidung erkennen lässt. In der Nacht sinkt die Grösse des Saftausflusses; sie erreicht in den frühen Morgenstunden ihr Minimum, um dann wieder zu steigen. Hat man die Stengelstümpfe mit einem einfachen Steigrohr in Verbindung gebracht, so muss man natürlich nach jeder Beobachtung die über der Marke stehende Flüssigkeit entfernen. Dies geschieht bequem mit Hülfe eines dünnen Glasrohres, welches man in das Steigrohr einführt. Die in Millimetern ausgedrückte Höhe der Wassersäule von der Marke bis zum Niveau der Flüssigkeit kann als Maassstab zur Beurtheilung der Grösse des Saftausflusses dienen. Relativ junge Pflanzen lassen, soweit die Untersuchungen reichen, das Phänomen der Periodicität des Saftausflusses noch nicht erkennen. Bei Individuen von Cucurbita Melopepo, die einen Monat alt sind, ist z. B. die Periodicität noch nicht entwickelt[2]). Selbstverständlich ist bei allen Versuchen besonderes Gewicht darauf zu legen, dass die Temperaturverhältnisse möglichst constant bleiben.

78. Die Ursachen des Wurzeldrucks und verwandter Erscheinungen.

Ein Glasrohr von etwa 80 Mm. Länge und 40 Mm. Weite (vergl. Fig. 64) wird an einem Ende mit einer gut ausgewaschenen Schweinsblase verbunden, darauf mit concentrirter Rohrzuckerlösung völlig angefüllt und das obere Ende der Röhre mit vegetabilischem Pergament verschlossen. Das Glasrohr ist durch die weite Bohrung eines grossen Korkes (*K*) zu schieben, so dass dasselbe, wenn der Kork auf ein Glas (*Gl*) gesetzt wird, welches destillirtes Wasser enthält, mit dem unteren Ende in diese Flüssigkeit eintaucht. Ueber den oberen, mit Pergamentpapier verschlossenen Theil des Glasrohres wird eine in ein Kautschukrohr auslaufende Kautschukkappe (*Kk*) gebunden, und ein zweifach gegebogenes Glasrohr (*Gr*) in das Kautschukrohr eingeführt. Ist der Apparat zusammengestellt, so beginnt derselbe seine Thätigkeit alsbald. Es dringt auf osmotischem Wege Wasser in das am oberen sowie unteren Ende mit einer Membran verschlossene Glasrohr (künstliche Zelle) ein, in demselben kommen, da mehr Wasser ein- als Zuckerlösung aus-

1) Die Versuche mit Cucurbita, Helianthus oder manchen anderen Gewächsen stellt man zweckmässig im Sommer an. Die Pflanzen müssen an einem sonnigen Orte im Freien oder im Kalthause cultivirt worden sein.

2) Literatur vergl. bei Detmer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 122.

tritt, Druckverhältnisse zur Geltung, die nach einigerZeit imStande sind, den Filtrationswiderstand des Pergamentpapiers zu überwinden. Ist dies der Fall, so wird Flüssigkeit in das Glasrohr *Gr* gepresst, und sie kann in dem Gefäss *F* gesammelt werden. Freilich sind die Vorgänge, welche sich bei dem Zustandekommen des Wurzeldrucks und verwandter Erscheinungen in der Pflanze geltend machen, weit complicirter als diejenigen, von denen im Vorstehenden die Rede war, und es ist namentlich zu betonen, dass ja in der Pflanzenzelle das Protoplasma (zumal die Hautschicht desselben) eine wichtige Rolle spielt, wenn in den Gewächsen durch osmotische Vorgänge Druckwirkungen zu Stande kommen; aber immerhin ist das erwähnte Experiment doch von erheblichem pflanzenphysiologischem Interesse. In den Zellen des Parenchyms der Wurzeln kommen in Folge der osmotischen Leistungsfähigkeit des Zellinhalts Druckkräfte zur Geltung. Die stark turgescirenden Zellen pressen schliesslich einen Theil ihres Inhaltes aus, dieser tritt in die Holzelemente ein und wird in denselben emporgetrieben.

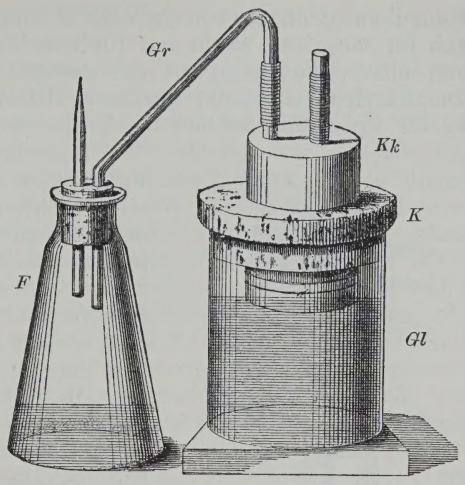


Fig. 64. Apparat zur Veranschaulichung derjenigen Vorgänge, welche sich beim Zustandekommen des Wurzeldrucks geltend machen.

79. Weitere Experimente über den Austritt tropfbar flüssigen Wassers aus Pflanzen.

Wenn in den Pflanzenzellen energische Druckkräfte in Folge osmotischer Processe zu Stande kommen, und diese Druckkräfte schliesslich den Filtrationswiderstand des Hyaloplasmas sowie der Zellhaut der Zellen überwinden, so werden Flüssigkeitsmengen aus den Zellen hervorgepresst. Die Untersuchungen über den Flüssigkeitsaustritt aus decapitirten Pflanzen unter Vermittelung des Wurzeldrucks haben uns bereits mit Phänomenen bekannt gemacht, deren Ursachen in osmotischen Druckkräften zu suchen sind. Aber es giebt noch eine Reihe anderweitiger Erscheinungen, die hier Berücksichtigung finden müssen.

In Blumentöpfen cultivirte junge Mais- oder Tropaeolumexemplare werden in einen Thermostaten (vergl. Fig. 62) gestellt und mit einer Glasglocke bedeckt. Den Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln, hat man reichlich mit Wasser durchfeuchtet, und die Temperatur im Apparat muss constant auf einer Höhe von 20—25 ° C. erhalten werden. Die Transpiration der Untersuchungsobjecte ist unter den bezeichneten Umständen fast gleich Null. In Folge der Thätigkeit des Wurzeldrucks füllen sich alle Hohlräume im Innern der Pflanze mit Wasser an, und dieses kann sogar nach aussen hervortreten. In der That beobachtet

man denn auch, dass nach Verlauf von $^1/_2$—2 Stunden an den Blattspitzen von Zea sowie am Blattrande von Tropaeolum Wassertropfen erscheinen, die, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, abfallen und durch neue ersetzt werden. Bei Zea tritt das Wasser aus Rissen in der Epidermis hervor; bei Tropaeolum aus Wasserspalten.

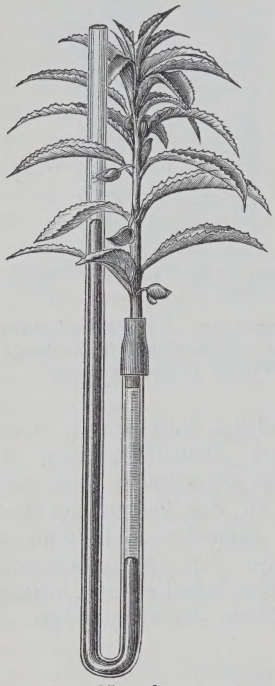


Fig. 65. Apparat zum Nachweis des Einflusses von Druckkräften auf den Wasseraustritt aus Pflanzentheilen.

Dass in der That Druckkräfte, wie sie durch den Wurzeldruck z. B. gegeben sind, eine wichtige Rolle beim Hervortreten von Wassertropfen aus Blättern spielen, lässt sich leicht beweisen. Man befestigt auf dem kürzeren Schenkel eines mit Wasser angefüllten Glasrohrs abgeschnittene Sprosse von Vitis, Tropaeolum oder Impatiens (vergl. Fig. 65). Der Stengelquerschnitt taucht in das Wasser ein. Wenn man die Vorrichtung nun in einen grossen Glascylinder stellt, den man mit einer Glasplatte zudeckt, um die Transpirationsgrösse der Untersuchungsobjecte möglichst herabzusetzen, und endlich Quecksilber in den langen Schenkel des Glasrohres giesst, so treten nach kürzerer oder längerer Zeit Wassertropfen aus dem Gewebe der Blätter hervor. Sehr schön sah ich die Tropfenabscheidung, als ich in der angegebenen Weise mit Sprossen von Impatiens Balsamina experimentirte. Bei einem Ueberdruck von 35 Ctm. Quecksilber traten in wenigen Minuten Wassertropfen aus den Zähnen des Randes der Blätter hervor [1]).

Nach den Angaben Pitra's soll es leicht sein, die Beobachtung zu machen, dass aus dem Stammquerschnitt abgeschnittener beblätterter Sprosse, die man fast völlig in Wasser eintaucht, Flüssigkeit in beträchtlicher Menge hervortritt. Ich habe viele Versuche Pitra's wiederholt, aber mit negativem Erfolg. Freilich reichen meine Erfahrungen für eine kritische Behandlung der Experimente des genannten Autors nicht aus, und ich gehe daher auch nicht specieller auf dieselben ein. Dagegen gelingt es ohne Mühe den Nachweis zu liefern, dass nicht nur in den Wurzeln, sondern auch in den Zellen von Stammtheilen Druckkräfte auf osmotischem Wege erzeugt werden können, die eine Flüssigkeitsauspressung zur Folge haben, wenn man Stengelstücke von Zea oder Sorghum vulgare als Untersuchungsobjecte benutzt. Die Stengelstücke werden aus kräftigen Mais- und im Beginn der Blüthezeit stehenden Sorghumexemplaren in einer Länge von ca. 10 Ctm. derartig herausgeschnitten, dass ihre obere Schnittfläche wenige Millimeter über einem Knoten liegt. Stellt man die Stengelstücke in Wasser, so dass ihre obere Schnittfläche aus der Flüssigkeit hervorragt, und bedeckt man mit einer Glasglocke, dann tritt alsbald aus dem Stengelquerschnitt

1) Vgl. Moll, Botan. Zeitung, 1880.

Saft hervor. Trocknet man die Schnittfläche mit Fliesspapier ab, so erscheint sie bald wieder feucht.

Aber nicht nur osmotische Druckkräfte, auch andere Ursachen sind im Stande, einen Flüssigkeitsaustritt aus Pflanzentheilen herbeizuführen. So verhält sich die Sache z. B. bei vielen Nectarien [1]), und wir wählen diejenigen von Fritillaria imperialis zur Untersuchung. Am Grunde der Perigonblätter dieser Pflanze sind die relativ grossen, napfförmigen Nectarien leicht zu sehen. In ihnen ist ein zuckerreicher Saft vorhanden, der Glycose enthält, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man die Basis einiger Perigonblätter mit wenig Wasser abspült und die erhaltene Flüssigkeit in siedende Fehling'sche Lösung einträgt. Wir spülen ferner die Nectarien mehrerer Perigonblätter von Fritillaria recht sorgfältig und wiederholt mit reinem Wasser aus, trocknen sie mit einem weichen Tuche ab und legen die Blumenblätter unter eine Glasglocke. In die Nectarien einiger Perigonblätter bringen wir nun ein Körnchen angefeuchteten Zuckers, in diejenigen anderer aber keinen Zucker. Jene ersteren enthalten nach einigen Stunden wieder zuckerreichen Saft, diese letzteren bleiben trocken. Der Zucker zieht auf osmotischem Wege Wasser aus den Zellen der Nectarien an sich, ohne dass dabei Druckkräfte ins Spiel kommen, und was der im Experiment zugeführte Zucker leistet, das leisten unter normalen Verhältnissen vermuthlich osmotisch wirksame Stoffe, die durch Metamorphose aus der Substanz der äusseren Epidermiszellmembranen der Nectarien hervorgehen.

Wenn wasserreiche, abgehauene Baumstämme dem Einfluss der Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, so quillt häufig Flüssigkeit aus den Querschnitten derselben hervor, eine Erscheinung, die ihren Grund darin hat, dass die Luft im Innern der Holzelemente durch die Sonnenwärme ausgedehnt wird und dadurch das gleichzeitig vorhandene Wasser aus den Pflanzentheilen hervortreibt. Genaueres lehren die folgenden Experimente. 20—50 Ctm. lange und 2—5 Ctm. dicke Aststücke der Weide, Ulme, Esche, des Nussbaumes oder von Pavia rubra, mit welchen letzteren ich zumal experimentirte, werden im Winter bei kaltem, aber feuchtem Wetter abgeschnitten und zur Erhöhung ihres Wassergehaltes, nachdem man recht glatte Schnittflächen an ihren Enden hergestellt hat, 24 Stunden lang in Wasser von etwa 2 ° C. gelegt. Dann taucht man die Aststücke in Wasser von 25—30 ° C. ein, welches sich in einem Glascylinder befindet, so dass nur ihr oberes Ende etwas aus der Flüssigkeit herausragt. Es sammelt sich alsbald ziemlich viel Wasser auf der glatten Schnittfläche an. Ich beobachtete einen solchen durch die Ausdehnung der in den Holzelementen vorhandenen Luft bedingten Wasseraustritt auch, als ich im Winter abgeschnittene, 15 Ctm. lange und 2 Ctm. dicke Aststücke von Abies pectinata in Wasser von 24 ° C. eintauchte. Gelangten die Aststücke dann in Wasser von 5 ° C., so wurde das vorher an der oberen Schnittfläche ausgetretene Wasser wieder vom Untersuchungsobject eingesogen, weil die Abkühlung eine Contraction der in demselben vorhandenen Luft herbeiführte [2]).

---

1) Vgl. Wilson in Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, H. 1.
2) Vgl. Sachs, Botan. Zeitung, 1860.

80. Die Organisation der Pflanzentheile und die Transpiration.

Es sind keineswegs die sämmtlichen Gewebe des Pflanzenkörpers leicht permeabel für tropfbar flüssiges Wasser oder für Wassergas. Vielmehr giebt es Gewebearten, die das Wasser nur äusserst schwierig passiren lassen, und dahin gehört in erster Linie das Korkgewebe. Diese Thatsache beansprucht ein erhebliches biologisches Interesse. Viele wasserreiche Pflanzentheile, z. B. Kartoffelknollen, die eine längere Ruheperiode zu überdauern haben, finden wir in der That mit einer mehr oder minder mächtigen Korkschicht umkleidet, und um die Bedeutung derselben für die Erhaltung des wasserreichen Zustandes des Parenchyms der Knollen festzustellen, genügt es, das folgende Experiment auszuführen [1]). Man verschafft sich zwei Kartoffelknollen von möglichst gleicher Grösse. Die eine Knolle wird geschält, um das Korkgewebe zu entfernen, die andere Knolle bleibt ungeschält. Man bestimmt nun das Gewicht beider Knollen und lässt sie dann neben einander liegen. Erneute Wägungen, die man nach Verlauf von 3, 6 und 24 Stunden vornimmt, lehren, dass die geschälte Knolle weit mehr Wasser als die ungeschälte verliert. Die kleinen Feuchtigkeitsmengen, welche die ungeschälte Knolle verliert, entweichen zumal aus den Lenticellen und aus feinen Rissen in der Schale.

Wenn man zwei Aepfel von möglichst gleicher Grösse aussucht, den einen abschält, den anderen ungeschält lässt, und das Gewicht der Untersuchungsobjecte von Zeit zu Zeit, z. B. alle 24 Stunden, feststellt, so ergiebt sich, dass der seiner Schale beraubte Apfel weit mehr Wasser an die Luft abgiebt als der ungeschälte. Die cuticularisirte Epidermis ist demnach ebenso wie das Korkgewebe auf jeden Fall sehr schwer permeabel für Wasser [2]).

Die geringe Wasserabgabe ungeschälter Kartoffeln und Aepfel wird insbesondere durch das Vorhandensein von Lenticellen vermittelt, und um noch direct darzuthun, dass diese Organe in der That nicht ohne Bedeutung für die Transpirationsgrösse sind, stelle man folgende Experimente an. Zwei möglichst gleichartige Zweigstücke von Aesculus oder Ampelopsis von etwa 3 Grm. Gewicht werden an ihren beiden Enden luftdicht mit Siegellack verschlossen und sich nach erfolgter genauer Gewichtsbestimmung 24 Stunden lang selbst überlassen. Man ermittelt dann abermals das Gewicht der Untersuchungsobjecte und stellt dadurch ihren Transpirationsverlust fest. An einem Zweige verkittet man nun die Lenticellen, an dem anderen entsprechend grosse Peridermstellen mit geschmolzenem Wachs, bestimmt das Gewicht der Pflanzentheile sofort und ebenso wieder nach 24stündiger Transpiration. Der Zweig, dessen Lenticellen verkittet worden waren, wird absolut oder wenigstens procentisch weniger Wasser als das Vergleichsobject verloren haben.

Die Epidermis der Blätter ist, wie schon unter 69 hervorgehoben wurde, sehr allgemein mit Wachsüberzügen versehen, die bekanntlich in verschiedenen Formen auftreten. Diese Wachsüberzüge setzen die Transpirationsgrösse der Blätter nicht unwesentlich herab, wie z. B. das folgende Experiment lehrt. Man benutzt zweckmässig die beiden

1) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft, 1879, S. 119.
2) Vgl. Just in Cohn's Beiträgen zur Biologie der Pflanzen, 1875, Heft 3.

Blätter desselben Blattpaares von Eucalyptus globulus zum Versuch. Das eine Blatt wird ohne Weiteres, das andere, nachdem man den Wachsüberzug mit einem weichen Tuche abgewischt hat, genau gewogen. Die nach Verlauf von 6, 12 oder 24 Stunden wiederholten Wägungen lehren, dass das erstere Blatt einen geringeren Transpirationsverlust als das letztere erfahren hat [1]).

Die im Vorhergehenden angeführten Experimente lassen freilich keinen Zweifel darüber bestehen, dass bei der Transpiration der Gewächse höchstens ein geringer Theil des verdampfenden Wassers die cuticularisirte Epidermis passirt, zumal wenn die Cuticula mit wachsartigen Substanzen reichlicher imprägnirt ist. Indessen die Cuticula ist doch nicht völlig impermeabel für Wasser, wie die folgenden Versuche lehren.

Wir legen ein abgeschnittenes, unversehrtes Blatt einer Begonie, dessen Oberfläche spaltöffnungsfrei ist, neben einen Objectträger in eine Krystallisirschale. Nun versetzen wir eine grössere Kochsalzmenge mit wenig Wasser, so dass das Kochsalz etwas angefeuchtet ist, vertheilen sowohl auf die Blattoberseite, als auch auf den Objectträger kleine Kochsalzmengen und bedecken die Krystallisirschale mit einer Glasplatte. Das Kochsalz auf dem Blatt zerfliesst alsbald, weil es Wasser aus dem Blattgewebe, welches nur durch die Cuticula nach aussen gelangt sein kann, anzieht. Das Kochsalz auf dem Objectträger zieht höchstens wenig Wassergas aus der atmosphärischen Luft an und bleibt relativ trocken.

Wir stellen uns durch Zusammenschmelzen von Wachs und fettem Oel ein sehr leicht zu verflüssigendes Gemisch her. Es werden dann zwei möglichst gleichartige Blättchen von Mahonia abgeschnitten, und während wir bei dem einen Blättchen nur die Oberseite mit dem Gemisch von Wachs und Fett überziehen (es gelingt das leicht mit Hülfe eines Pinsels), so wird bei dem zweiten Blatt nur die Unterseite verklebt. Bei beiden Untersuchungsobjecten verklebt man den Blattstielquerschnitt. Nach völligem Erkalten und Erstarren der Wachsüberzüge bestimmen wir das Gewicht der Blätter, lassen sie mit ihrer nach oben gewandten freien Fläche an der Luft liegen und ermitteln nach einiger Zeit abermals ihr Gewicht. Das Blättchen mit freier Unterseite wird mehr Wasser durch Verdunstung abgegeben haben als das andere, weil der Unterseite des Mahoniablattes Spaltöffnungen nicht fehlen. Die spaltöffnungsfreie Oberseite des Mahoniablattes giebt natürlich nur relativ wenig Wasser an die Luft ab, und dieses Wasser muss die Cuticula passiren. Es giebt noch andere Pflanzen (Ilex, Nerium, Begonia, Ficus etc.), deren Blätter, da sie nur an ihrer Unterseite Spaltöffnungen besitzen, zu ähnlichen Experimenten wie die Mahoniablätter verwendet werden können.

Bei der Untersuchung der Beziehungen zwischen der Organisation der Pflanzentheile einerseits und ihrer Transpiration andererseits darf nicht unerwähnt bleiben, dass viele Blätter, übrigens auch andere Organe, Gewebe ausgebildet haben, die zur Aufspeicherung von Wasser dienen. Es kommen hier zumal Gewächse in Betracht, die an relativ trockenen Standorten vegetiren, und die oft darauf angewiesen sind, eine längere Periode grosser Trockenheit zu überdauern. Zu nennen wären namentlich viele Cacteen, die cactusartigen Euphorbien, zahlreiche Crassulaceen, Aloë- sowie Peperomiaspecies. Wir stellen z. B. einen Querschnitt durch das Blatt von Aloë soccotrina her. Unter der sehr stark cuticularisirten Epidermis liegt das grüne Assimilationsgewebe,

1) Vgl. G. Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, 1884, S. 69.

dessen Zellen relativ grosse Chlorophyllkörner führen. Die Mitte des Blattes wird von einem Gewebe, dem sog. Wassergewebe, eingenommen, dessen grosse Zellen sehr wasserreich sind und schleimige Substanzen in bedeutender Menge enthalten. An der Grenze zwischen dem Wassergewebe und dem Assimilationsgewebe, welches das erstere rings umschliesst, liegen die Gefässbündel. Wenn die Aloëarten in trockenen Zeiten nicht in der Lage sind, grössere Wasserquantitäten mit Hülfe ihrer Wurzeln aus dem Boden aufnehmen zu können, so wird das in dem Wassergewebe aufgespeicherte Wasser verbraucht, und die Pflanzen leiden nicht wesentlich in Folge der Dürre, die andere Gewächse vernichten würde. Das Blatt von Peperomia trichocarpa besitzt ebenso ein entwickeltes Wassergewebe, wie man sofort bei der Untersuchung von Blattquerschnitten erkennt. Unter der Epidermis der Blattoberseite liegt ein saftreiches, chlorophyllfreies Gewebe, dessen Zellen nach der Blattmitte zu an Grösse zunehmen. Das Assimilationsparenchym präsentirt sich auf dem Querschnitt als ein Gewebe von nur geringer Dicke. Es ist zwischen dem erwähnten Wassergewebe der Blattoberseite und einer mächtigen Parenchymschicht der Blattunterseite ausgebreitet, deren Zellen zwar etwas Chlorophyll führen, aber wegen ihres bedeutenden Saftgehaltes doch wohl als solche anzusehen sind, die der Hauptsache nach ebenfalls für die Wasserspeicherung Bedeutung besitzen.

81. Weitere Transpirationsversuche.

Es ist beachtenswerth, dass von einer bestimmten Blattfläche erheblich weniger Wasser in der Zeiteinheit verdunstet, als von einer gleich grossen freien Wasserfläche. Zur Constatirung dieser Thatsache stellte ich unter Benutzung des in Fig. 66 abgebildeten Apparats die folgenden Versuche an. Ein 11 Ctm. hohes, 8 Ctm. weites Glasgefäss wird mit guter Gartenerde angefüllt, und in dieselbe ein Bohnensame zur Keimung ausgelegt. Hat die junge Pflanze ihre Primordialblätter völlig entfaltet, so legt man eine halbirte Glasplatte auf den abgeschliffenen und mit Fett bestrichenen Rand des Gefässes. Die Glasplatte ist mit drei Löchern versehen. Das mittlere dient zur Aufnahme des Stengels der Bohnenpflanze und wird nöthigenfalls noch mit Watte verstopft. Das eine der beiden seitlichen Löcher nimmt das Thermometer *T* auf, während man das andere mit einem Kork verschliesst. Man bestimmt nun das Gewicht des gesammten Apparats, ebenso dasjenige einer mit Wasser gefüllten Krystallisirschale. Die letztere hatte bei meinem Versuche einen Durchmesser von 5 Ctm. Nach Verlauf von 24 Stunden ermittelt man das Gewicht der Apparate abermals. Die Bohnenpflanze hatte 4,6 Grm., die freie Wasserfläche 2,23 Grm. Wasser an die Luft abgegeben. Die Grösse der Wasserfläche berechnet sich zu 19,6 □Ctm. Die Oberfläche der Bohnenblätter ermittelt man auf folgende Weise. Recht homogenes Papier wird mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali getränkt. Nach dem Trocknen des Papiers bestimmt man das Gewicht eines Stückes desselben von bekannter Oberfläche. Man schneidet ferner die beiden Primordialblätter der Bohnenpflanze ab, legt sie auf genügend grosse Stücke des mit Kaliumbichromat getränkten Papiers und setzt dieses nunmehr einige Zeit lang dem directen Sonnenlicht aus. Der Umriss der Blätter ist alsbald deutlich auf dem Papier zu erkennen, denn die unbedeckten Theile desselben bräunen sich erheblich. Man schneidet die Blattabdrücke sorgfältig aus, ermittelt das Gewicht der be-

treffenden Papierstücke und kann nun unter Berücksichtigung des Gewichts eines Papierstückes von bekannter Fläche auch die Oberfläche der Blätter leicht feststellen. Ich fand die Gesammtoberfläche der beiden Primordialblätter meiner Bohnenpflanze zu 230,8 □ Ctm. Diese Blattfläche verdunstete sicher nicht mehr als 4,6 Grm. Wasser, denn ich habe die Oberfläche der Blattstiele, des Bohnenstengels und der Endknospe ganz ausser Acht gelassen, obgleich diese Organe ja auch kleine Wassermengen an die Luft abgeben. 19,6 □Ctm. freier Wasserfläche gaben in 24 Stunden 2,23 Grm. Wasser ab, also 100 □ Ctm. 11,3 Grm. 230,8 □ Ctm. Blattfläche verloren in 24 Stunden 4,6 Grm. Wasser, also 100 □ Ctm. 1,99 Grm.

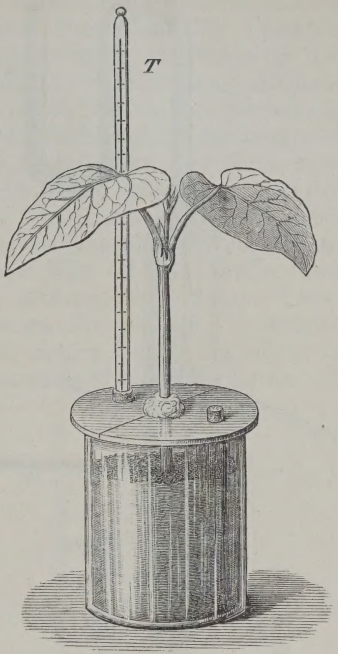


Fig. 66. Apparat zu Transpirationsversuchen.

Unter 80 ist bereits festgestellt worden, dass die cuticularisirten Regionen der Epidermis der Blätter eine gewisse Bedeutung für den Process der Transpiration besitzen, denn sie sind, wie wir gesehen haben, nicht durchaus impermeabel für Wassergas. Aber trotzdem ist es sicher, dass die wesentlichste Bedeutung bei der Transpiration den Spaltöffnungen zukommt. Man hat nämlich eine entschiedene Abhängigkeit der Transpirationsgrösse eines Pflanzentheils von der Anzahl der vorhandenen Spaltöffnungen constatiren können. Eine directe Proportionalität zwischen der Anzahl der Spaltöffnungen auf bestimmter Blattfläche und der Transpirationsgrösse ist freilich nicht vorhanden, aber dies darf uns nicht wundern, denn das durch die Spaltöffnungen entweichende Wassergas wird ja in den Intercellularen gebildet, und es kommt somit nicht nur auf die Stomata allein, sondern ebenso auf die Form, Weite und Anzahl der Intercellularen an.

Garreau [1]) hat die Transpirationsgrösse der Ober- und Unterseite zahlreicher Blätter bestimmt und zugleich die Anzahl der auf gleichen Blattflächen vorhandenen Spaltöffnungen festgestellt. Er gelangte z. B. zu folgenden Resultaten:

	Verhältnisszahl der Spaltöffnungen		In 24 Std. transpirirtes Wasser in Grm.
Atropa belladonna	oben	10	0,48
	unten	55	0,60
Nicotiana rustica	oben	15	0,57
	unten	20	0,80
Syringa vulgaris	oben	100	0,30
	unten	150	0,60
Tilia europaea	oben	0	0,20
	unten	60	0,49

1) Vergl. Garreau, Annal. d. sc. nat. 1850.

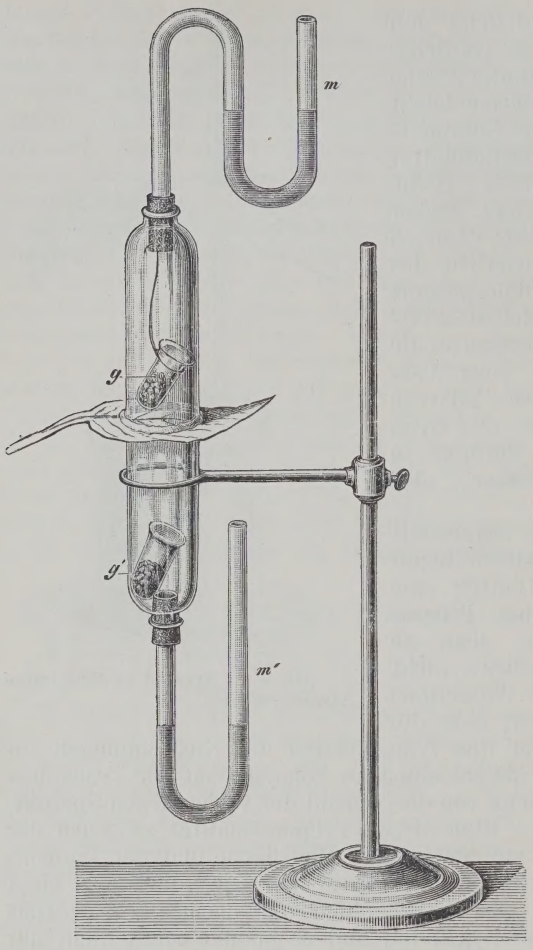


Fig. 67. Apparat zu Transpirationsversuchen.

Will man die Versuche Garreau's wiederholen, so stelle man sich den in Fig. 67 abgebildeten Apparat zusammen. Zwei gleiche Glasglocken von je nach Bedürfniss verschiedener Grösse (etwa 40, resp. 80 Mm. Durchmesser und 100 Mm. Höhe) werden auf die Ober- und Unterseite desselben Blattes aufgesetzt und mit Hülfe eines Kittes luftdicht befestigt. Als Kitt leistet, wovon ich mich überzeugte, ein durch Zusammenschmelzen von 2 Thl. Baumöl, 1 Thl. Hammeltalg und 1 Thl. Wachs hergestelltes Gemisch gute Dienste. Ist die Temperatur in demjenigen Raum, in welchem der Apparat steht, relativ hoch (z. B. über 20° C.), so verwende man nicht 2 Thl. Baumöl, sondern eine geringere Menge. Die Glasglocken müssen tubulirt sein, damit man in den Stand gesetzt wird, die beiden mit Oel gesperrten Manometer m und m^1 anbringen zu können. Unter jeder Glasglocke befindet sich endlich noch ein mit Chlorcalcium angefülltes Glas (g und g^1). Aus der Gewichtszunahme dieser Gläser ergiebt sich die Transpirationsgrösse der Blattflächen. Es ist selbstverständlich, dass man zweckmässig nicht mit abgeschnittenen, sondern mit den an der intacten Pflanze belassenen Blättern experimentirt.

82. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Transpiration der Pflanzen.

Die Apparate, welche man bei den zahlreichen vorliegenden Untersuchungen über den Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Transpiration der Pflanzen in Anwendung gebracht hat, sind sehr verschiedenartig construirt worden. Wir wollen hier zwei Apparate benutzen, die ich aus eigener Erfahrung empfehlen kann. Der eine ist bereits unter 81 beschrieben worden und in Fig. 66 abgebildet. Dort ist angegeben, dass

die Untersuchungsobjecte in dem mit Glasdeckel verschliessbaren Glasgefässe selbst cultivirt werden können. Man kann die Pflanzen aber auch in Blumentöpfen zur Entwickelung bringen, und diese in die genügend grossen, verschliessbaren Glasgefässe hineinstellen. Experimentirt man mit relativ grossen Pflanzen (z. B. Helianthus, Nicotiana) und ist man daher genöthigt, um eine recht kräftige Entwickelung der Gewächse zu erzielen, grosse Blumentöpfe zu benutzen, so stellt man diese in Zinkblechbehälter, die mit einem halbirten Deckel verschlossen werden können. In diesem Deckel müssen Löcher zur Aufnahme eines Thermometers sowie des Stammes des Untersuchungsobjectes vorhanden sein. Die Deckelfugen kann man mit einem Kitt (2 Thl. Wachs und 1 Thl. Colophonium, zusammengeschmolzen) luftdicht verstreichen. Transpirationsversuche mit relativ grossen Pflanzen (Helianthus, Nicotiana) sind schon deshalb lehrreich, weil sie uns zeigen, dass dieselben in kurzer Zeit (z. B. 24 Stunden) recht bedeutende Wassermengen an die Luft abgeben.

Der zweite bei Experimenten über die Wasserverdunstung der Gewächse bequem, zumal bei Demonstrationen in der Vorlesung, zu verwendende Apparat ist in Figur 68 dargestellt. Das U-förmig gebogene, ziemlich weite Glasrohr G ist mit Wasser angefüllt. Die Mündung des einen Schenkels wird mittelst eines Korkes verschlossen, in dessen Bohrung das untere Ende des Sprosses Sp, dessen Transpirationsgrösse ermittelt werden soll, steckt. Die Mündung des anderen Schenkels wird mittelst eines zweifach durchbohrten Korkes verschlossen. Die eine Bohrung dient zur Aufnahme des Thermometers T, die andere zur Aufnahme des einen Schenkels des gebogenen, dünnen und mit Wasser angefüllten Glasrohres G^1. Wir stellen unsere Vorrichtung in ein weites Glasgefäss und sind im Stande, indem wir den gesammten Apparat auf eine Wage bringen, den durch Transpiration des Sprosses herbeigeführten Gewichtsverlust festzustellen. Zugleich aber können wir auch die durch die Transpiration bedingte Volumenverminderung des Wassers im Apparat direct beobachten, denn die Verdunstung bedingt ein Sinken des Wassers im Glasrohre G^1.

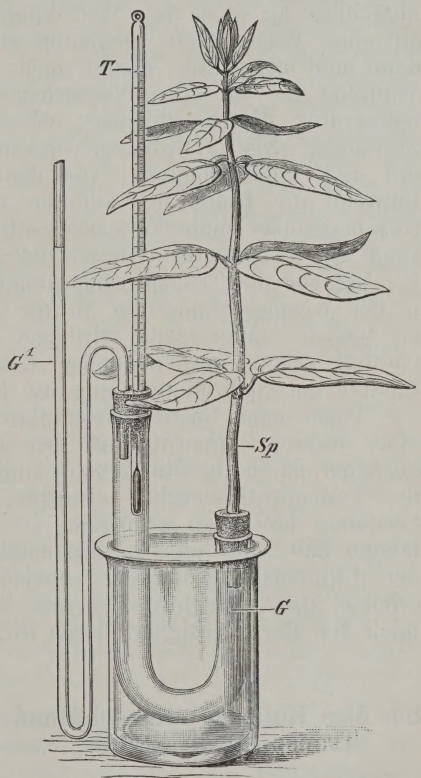


Fig. 68. Apparat zu Transpirationsversuchen.

Wollen wir uns davon überzeugen, dass Pflanzen in einer wassergasreichen Luft weit schwächer transpiriren als in wassergasarmer, so stellen wir einen unserer Apparate zunächst eine halbe Stunde lang unter eine Glasglocke, deren innere Wandfläche mit Wasser benetzt

worden ist. Dann setzen wir unser Untersuchungsobject eine halbe Stunde lang der freien Luft aus. Man stelle die Versuche übrigens nicht im Freien, sondern in einem Zimmer an und sorge dafür, dass das Beobachtungsobject während der Experimente stets den nämlichen Temperatur- sowie Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt bleibe.

Bei höherer Temperatur giebt eine Pflanze viel mehr Wasserdampf als bei niederer Temperatur ab. Die Temperaturverhältnisse an sich und die Feuchtigkeitsverhältnisse wirken hierbei gewöhnlich zusammen. Alle diese Erscheinungen brauchen hier nicht weiter besprochen zu werden, denn ihr Zustandekommen ist im Grunde selbstverständlich.

Lehrreich ist es dagegen, die Thatsache festzustellen, dass das Licht die Transpirationsgrösse erhöht. Ich benutzte bei meinen Versuchen den in Fig. 66 abgebildeten Apparat und experimentirte zumal mit Cucurbita. Man stellt die Beobachtungen in einem Zimmer an, das zur Zeit der Versuche nur diffuses Licht empfängt und ohne Mühe schnell verdunkelt werden kann, wobei übrigens gar nicht auf absoluten Lichtausschluss zu sehen ist. Der Apparat steht am besten vor dem Fenster auf einer Wage. Man beleuchtet eine halbe Stunde lang, verdunkelt dann und beleuchtet wieder nach Verlauf einer halben Stunde etc. Während der einzelnen Versuchsperioden muss die Boden- und Lufttemperatur dieselbe bleiben; ebenso darf die Luftfeuchtigkeit nicht schwanken. Als Psychrometer verwendet man bequem ein einfaches Stativ mit zwei Thermometern, von denen das eine trocken gehalten wird, während die Kugel des anderen mit nasser Leinwand umwickelt ist. Genaueres über meine Versuchsresultate ist in meiner Abhandlung: Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks, Jena, 1877, S. 77, nachzusehen. Die Ursache der Transpirationssteigung durch Beleuchtung ist einerseits in der Wärmewirkung der in die Pflanze eindringenden Lichtstrahlen zu suchen, andererseits wird jene Steigerung in manchen Fällen noch dadurch erhöht werden können, dass Lichtzutritt eine Erweiterung der Spalten der Spaltöffnungsapparate herbeiführt.

Wenn man Cucurbitaexemplare oder andere Pflanzen mit Hülfe eines unserer Apparate auf ihre Transpirationsgrösse untersucht und zunächst eine halbe Stunde lang ruhig auf einer Wage stehen lässt, dann den Transpirationsverlust ermittelt, um die Pflanzentheile nun einige Secunden heftig zu schütteln, so ergiebt sich sofort, dass in dieser letzten Zeit eine unverhältnissmässig bedeutende Wassergasmenge aus den Untersuchungsobjecten entwichen ist. Plötzliche Erschütterungen erhöhen die Transpirationsgrösse der Gewächse erheblich. Ich habe mich von der Richtigkeit dieser Erscheinung mehrfach überzeugt[1]).

83. Das Holz als wasserleitendes Gewebe und der Einfluss der Transpiration auf die Wasserbewegung in der Pflanze.

Wir bringen an der Basis eines reich beblätterten Zweiges eines Baumes oder Strauches (ich experimentirte mit Pavia rubra), ohne denselben von seiner Mutterpflanze zu trennen, einen Ringelschnitt an, in-

1) Literatur: Unger, Anatomie u. Physiol. d. Pflanzen, 1855; Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865; Baranetzky, Botan. Zeitung, 1872; Wiesner, Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. in Wien, 1876, Octoberheft; Detmer, Beiträge zur Theorie d. Wurzeldrucks, Jena, 1877, S. 47; Kohl, Transpiration d. Pflanzen, Braunschweig, 1886.

dem wir einen etwa 5 Ctm. breiten Rindenring rings im Umfange des Zweiges bis auf das Holz entfernen.

Das Untersuchungsobject bleibt lange Zeit frisch, trotzdem die Blätter lebhaft transpiriren, denn die Wasserzufuhr ist nicht in Folge der Ringelung aufgehoben. Somit kann die Rinde nicht als dasjenige Gewebe betrachtet werden, dem irgend welche besondere Bedeutung bei der Wasserleitung im Stamm zukommt; vielmehr ist es der Holzkörper der Fibrovasalstränge, in welchem sich das Wasser bewegt. Das trockene oder gar bereits theilweise zerstörte Mark in der Mitte der holzigen Stammgebilde spielt natürlich keine Rolle bei der Wasserbewegung in der Pflanze.

Wir schneiden einen Spross von Impatiens noli tangere oder I. parviflora ab und stellen ihn mit seiner Schnittfläche in eine wässerige Lösung von Methylgrün. Die Stengel unserer Untersuchungsobjecte sind in hohem Grade durchscheinend, so dass man die Erscheinungen, um die es sich hier für uns handelt, bei ihrer Benutzung besonders schön beobachten kann. Bei einem mit Impatiens parviflora angestellten Versuch ergab sich, dass die Farbstofflösung in dem Stengel eines ziemlich stark transpirirenden Sprosses nach Verlauf von $^1/_4$ Stunde bereits einige Centimeter hoch hinaufgestiegen war, und bei mikroskopischer Untersuchung von Stengelquerschnitten erschien nur der Holztheil der im Kreise angeordneten Gefässbündel tingirt. Diese Befunde beweisen nun nicht unzweifelhaft, dass die durch Transpirationsvorgänge eingeleitete Wasserströmung in der Pflanze im Holz erfolgt, denn die Membranen der Holzelemente besitzen die Fähigkeit, Anilinfarben energisch zu speichern, und es wäre daher a priori denkbar, dass sie den Farbstoff nur aus anderen Geweben aufgenommen hätten. Indessen unter Berücksichtigung der Resultate unseres Experimentes über die Wasserbewegung in geringelten Sprossen beansprucht auch der Versuch mit Impatiens, zumal für Demonstrationszwecke, einiges Interesse.

Wir schneiden nun ferner zwei möglichst gleichartig entwickelte Sprosse von Impatiens ab und stellen sie beide mit ihrem unteren Ende in Wasser. Beide Sprosse verweilen zunächst einige Stunden lang unter einer grossen Glasglocke, deren Wand im Innern mit Wasser benetzt worden ist. Dann bringen wir ihre Schnittfläche mit Auflösungen von Methylgrün in Berührung. Der eine Spross wird Bedingungen ausgesetzt, unter denen er lebhaft transpiriren kann. Den anderen schützen wir möglichst vor Wasserverlust, indem wir ihn unter der Glasglocke belassen. In diesem letzteren Spross steigt die Farbstofflösung nur wenig empor, während sie sich in den Gefässbündeln des transpirirenden Pflanzentheiles in kurzer Zeit bis zu beträchtlicher Höhe erhebt.

Die saugende Wirkung des Transpirationsprocesses kann auch noch durch anderweitige Experimente leicht festgestellt werden. Wir verwenden dazu den in Fig. 69 abgebildeten Apparat. Wir befestigen einen beblätterten Spross mit Hülfe eines Kautschukschlauches luftdicht am oberen Ende einer geraden Glasröhre, füllen dieselbe mit Wasser an und tauchen ihr unteres Ende in Quecksilber ein. In dem Maasse, in welchem das Wasser in Folge der Transpiration verbraucht wird, tritt in das Glasrohr Quecksilber ein, und ich fand, dass sich das Quecksilber bei ziemlich lebhafter Wasserverdunstung des Untersuchungsobjectes (ich benutzte z. B. Sprosse von Lonicera tatarica) in wenigen Stunden einige Centimeter hoch erheben kann.

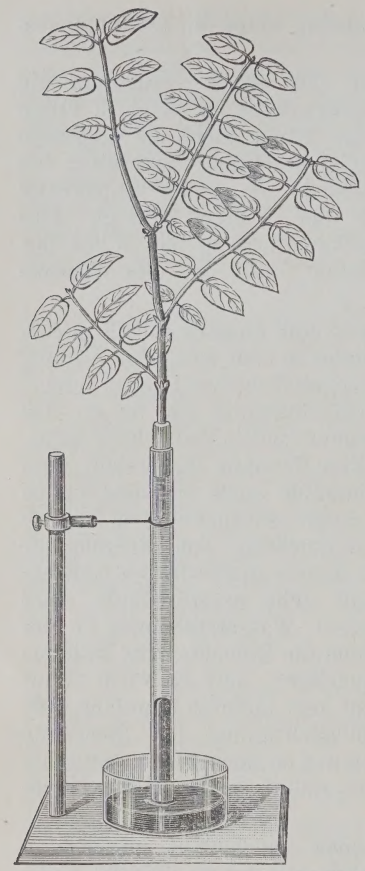


Fig. 69. Apparat zum Nachweis der saugenden Wirkung der Transpiration.

Wenn man den Stamm einer Birke nicht weit entfernt vom Erdboden im zeitigen Frühjahr (Ende März, Anfang April) anbohrt und den einen Schenkel eines im rechten Winkel gebogenen Glasrohres mit Hülfe eines Kautschukschlauches oder mit Hülfe von Siegellack luftdicht in der Bohrung befestigt, so zeigt sich, dass zumal zur Zeit der Nacht eine erhebliche Flüssigkeitsmenge in Folge der Thätigkeit des Wurzeldruckes aus dem Baume ausgepresst wird. Wiederholt man den nämlichen Versuch im Sommer, z. B. im Juni, so fliesst kein Tropfen Saft aus der Birke aus, sondern es kann sogar Wasser von dem Stamme eingesogen werden, wie sich leicht feststellen lässt, wenn man das offene Ende des rechtwinkelig gebogenen Glasrohres in Wasser eintaucht. Diese Erscheinung wird durch die saugende Wirkung der Transpiration hervorgerufen.

Wenn nun einer transpirirenden Pflanze, deren Holzelemente zunächst reichliche Wassermengen enthalten, keine sehr grossen Flüssigkeitsmengen zur Verfügung stehen — und es wird dies zumal im Sommer der Fall sein — dann verschwindet das Wasser mehr und mehr aus dem Lumen der Holzgefässe und Tracheiden. Aus dem intercellularen Luftsystem der Pflanzen geht die Luft, wie unter 65 gezeigt wurde, nur schwierig in das cellulare System über, und ebenso sind die Luftmengen, welche das in den Gewächsen vorhandene Wasser aufgelöst enthält und unter bestimmten Bedingungen an seine Umgebung abzugeben vermag, keine erheblichen. Bei starker Transpiration der Pflanzen im Sommer bildet also nicht Wasser den Inhalt der Holzelemente, sondern wasserdampfreiche verdünnte Luft, eine Thatsache, auf die bereits unter 65 hingewiesen worden ist.

Wenn wir ein Stück Holz aus einem transpirirenden Baum herausschneiden und dasselbe in Wasser werfen, so schwimmt es auf demselben. Wären die Lumina der Holzelemente völlig mit Wasser angefüllt gewesen, so hätte das Holz untersinken müssen, denn das specifische Gewicht der Holzsubstanz an sich ist grösser als dasjenige des Wassers. Ein in Wasser geworfenes Stück frischen Holzes sinkt übrigens allmählich tiefer in die Flüssigkeit ein, indem es zugleich eine Gewichtszunahme erfährt, eine Erscheinung, die nur Folge von Wasseraufnahme sein kann.

Ebenso lehrt der folgende Versuch, dass, während das Lumen der Holzelemente der Pflanzen unter Umständen völlig mit Wasser angefüllt

ist, dies keineswegs immer der Fall sein kann [1]). Zwei kräftige Exemplare von Cucurbita oder einer Begoniaspecies werden in der unter 74 angegebenen Weise decapitirt und mit Steigröhren versehen, nachdem die eine Pflanze vorher einen Tag lang stark transpirirt hatte, während die andere durch Ueberdecken mit einer Glasglocke vor bedeutenderem Wasserverlust geschützt worden war. Diese letztere Pflanze liefert sofort Saft, der sich unter dem Einfluss des Wurzeldrucks in dem aufgesetzten Steigrohre erhebt. Das erstere Untersuchungsobject liefert zunächst noch keinen Saft; es saugt sogar Wasser, welches man in das Steigrohr hineinbringt, ziemlich begierig ein. Erst allmählich kommt ein Saftausfluss zu Stande.

Wenn aus dem Stammstumpfe einer decapitirten Pflanze nicht sofort Saft ausfliesst, so ist damit übrigens noch keineswegs sicher bewiesen, dass in dem Wurzelsystem derselben direct nach erfolgter Operation überhaupt keine Druckkräfte entwickelt werden. Wohl aber ist unter solchen Umständen die Ausgiebigkeit des Wurzeldruckes auf jeden Fall eine geringfügige, so dass wenigstens das Lumen der Holzgefässe keine Flüssigkeit enthält. Ein relativ schwacher Wurzeldruck ist indessen auch schon von Bedeutung für den Wassertransport in den Stammgebilden der Gewächse, da er nach demjenigen, was wir unter 84 sehen werden, eine Wasserbewegung in den Tracheiden ermöglicht.

In der stark transpirirenden Pflanze kommen aber, abgesehen vom Wurzeldruck, noch anderweitige Kräfte bei der Wasserbewegung in Betracht, und in neuerer Zeit haben sich zumal Sachs [2]), R. Hartig [3]), Westermaier [4]), Godlewski [5]) sowie Scheit [6]) bemüht, diese Kräfte zu ermitteln. Meiner Meinung nach spielen bei der Wasserleitung in der transpirirenden Pflanze ausser dem Wurzeldruck noch Imbibitionsprocesse und osmotische Druckkräfte (die letzteren haben im Holzparenchym sowie in den Markstrahlen ihren Sitz) eine wichtige Rolle, und für die Thätigkeit der Zellen der erwähnten Gewebe ist es ebenso wie für die Thätigkeit der Wurzelzellen von hoher Wichtigkeit, dass durch die Transpiration ein negativer Druck der Luft in den Holzgefässen und den Tracheiden hergestellt wird.

84. Die Beweglichkeit des Wassers im Holz.

Wir verschaffen uns ein 15—30 Ctm. langes und 2—4 Ctm. Durchmesser besitzendes Stamm- oder Aststück von Abies pectinata. Das Untersuchungsobject muss recht wasserreich sein, weshalb man es am zweckmässigsten im Winter einer lebensfrischen Pflanze entnimmt und eventuell vor dem Versuch noch längere Zeit in Wasser legt. Die sorgfältig geglätteten Schnittflächen des Tannenholzes erscheinen trocken. Bringen wir aber auf die obere Schnittfläche des Untersuchungsobjectes, indem wir dasselbe in verticaler Stellung halten, mit Hülfe eines Pinsels

---

1) Vgl. Detmer, Beiträge zur Theorie d. Wurzeldrucks, in Preyer's physiologischen Abhandlungen, 1877, B. 1, H. 8, S. 37.
2) Vgl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 288.
3) Vgl. R. Hartig, Gasdrucktheorie, 1883.
4) Vgl. Westermaier, Bericht d. deutschen botan. Gesellschaft, 1883, H. 8.
5) Vgl. Godlewski in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 15.
6) Vgl. Scheit in d. Jenaischen Zeitschrift f. Naturwissenschaft, neue Folge, Bd. 12.

eine dünne Wasserschicht, so beobachten wir, dass dieses Wasser schnell in das Holz einsinkt, während die Schnittfläche am unteren Ende feucht wird. Ein schnelles Umdrehen des Holzstückes lässt eine Wiederholung des Vorgangs beobachten. Durch das Holz filtrirt also sehr leicht Wasser hindurch. Es genügt ein minimaler Druck, um die Filtration zu ermöglichen. Zu gleichem Schluss führen die Resultate der folgenden Experimente. Befestigt man in den kürzeren Schenkel eines U-förmigen Glasrohres ein Stück frischen Tannenholzes und füllt das Rohr mit Wasser an, so quillt so lange Flüssigkeit aus dem oberen Holzquerschnitt hervor, bis der Druck völlig ausgeglichen ist. Ein gerades, 2—4 Ctm. weites Glasrohr *G* (vgl. Fig. 70) wird an seinem einen Ende mit einem durchbohrten Kautschukkork verschlossen, dessen Bohrung zur Aufnahme des dünnen Glasrohres *R* bestimmt ist. In das andere Ende des weiteren Glasrohres wird ein Stück frischen Tannenholzes (ich benutzte ein solches von 15 Ctm. Länge und 2 Ctm. Durchmesser) *T* luftdicht eingekittet. Das zweimal im rechten Winkel gebogene Glasrohr *R* steht mit dem Kolben *K* und dieser mittelst des Glasrohres R^1 mit einer Luftpumpe in Verbindung. Taucht man die freie Schnittfläche des Holzes in Wasser ein und evacuirt, so filtrirt sofort Wasser

Fig. 71.

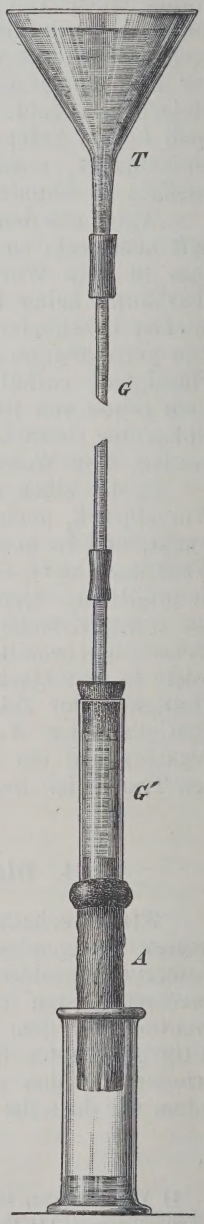


Fig. 70.

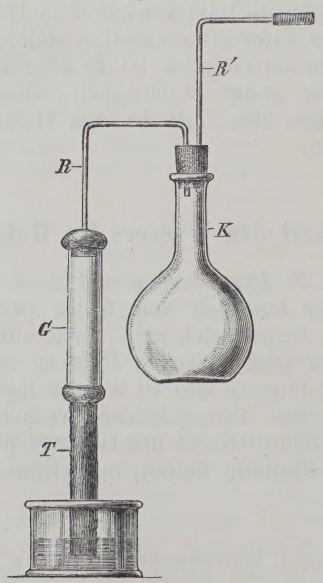


Fig. 70. Apparat zur Constatirung der leichten Beweglichkeit des Wassers im Holz.
Fig. 71. Apparat zur Constatirung der leichten Beweglichkeit des Wassers im Holz und der Thatsache, dass die Schliessmembranen der gehöften Tüpfel der Tracheiden geschlossen sind.

durch das Holz in das weitere Glasrohr hinein. Wir stellen uns nun den in Fig. 71 abgebildeten Apparat zusammen.

In einem eisernen Ringe eines auf einem hohen Schrank gestellten schweren Stativs hängt ein recht grosser Trichter *T*. Das Trichterrohr ist mit Hülfe eines Kautschukschlauches mit der etwa 150 Ctm. langen Glasröhre *G* in Verbindung gesetzt, deren unteres Ende in das weite Glasrohr G^1 einmündet. Der untere Theil dieses letzteren wird durch das ca. 6 Ctm. lange und 2 Ctm. im Durchmesser besitzende Aststück von Abies pectinata oder Taxus baccata *A* luftdicht abgeschlossen. Der ganze Apparat wird nun mit staubfreiem destillirtem Wasser angefüllt. Der Wasserdruck presst das Wasser durch die Aststücke, die man im berindeten oder entrindeten Zustande zur Anwendung bringen kann, hindurch, so dass in kurzer Zeit bedeutende Flüssigkeitsmengen abfiltriren. Die Quantität des ablaufenden Wassers wird mit der Zeit geringer, wie man leicht ermitteln kann. Es tritt dies auch dann ein, wenn man dafür Sorge trägt, dass das Wasserniveau im Trichter stets auf gleicher Höhe erhalten bleibt, und die Ursache der erwähnten Erscheinung ist in einer nach und nach zu Stande kommenden Veränderung (Verunreinigung) der Schnittfläche des Holzes, durch welche das Wasser eintritt, zu suchen.

Wir stellen einen weiteren Versuch mit unserem Apparat an, füllen denselben aber jetzt nicht mit reinem Wasser, sondern mit Wasser, in welchem wir Zinnober sehr fein vertheilt haben. Eine grössere Menge destillirten Wassers wird mit bestem Zinnober versetzt, die Flüssigkeit mehrfach filtrirt, so dass nur äusserst kleine Zinnoberkörnchen in ihr suspendirt bleiben, die sich selbst im Laufe mehrerer Tage nicht zu Boden setzen. Das im Laufe von 1—2 Tagen durch den Holzcylinder am unteren Ende unseres Apparates abfiltrirte Wasser ist vollkommen klar. Die Untersuchung des Holzstücks selbst ergiebt, dass nur die obere Schnittfläche desselben bis zu einer Tiefe von einigen Millimetern mit Zinnober imprägnirt ist. Die mikroskopische Beobachtung zarter Holzschnitte lässt uns die Gegenwart des Zinnobers in den Tracheiden erkennen, und wir gelangen schliesslich zu der folgenden Beurtheilung der Resultate unseres Experimentes.

Es ist natürlich, dass die Tracheiden des Tannenholzes, welche an die Schnittfläche der zum Versuch benutzten Holzcylinder grenzen, bei der Herstellung derselben geöffnet worden sind. Bei der Filtration dringen Wasser und Zinnober in diese Tracheiden ein. Es unterliegt nun gar keinem Zweifel, dass das Wasser selbst bei minimalem Druck durch die Schliessmembranen der behöften Tüpfel der Tracheiden filtrirt; alle unsere Experimente lassen diese Thatsache klar hervortreten. Die Zinnobertheilchen sind aber nicht im Stande, aus einer in eine andere Tracheide überzugehen, weil sie die Schliessmembranen der Tüpfel nicht passiren können. Zugleich ist hiermit der experimentelle Beweis von dem Vorhandensein der Schliessmembranen zwischen den Elementen des Coniferenholzes beigebracht[1]).

Die Leichtigkeit, mit der das Wasser durch Holz filtrirt, ist für die Wasserbewegung im Holzkörper der Pflanzen von grosser Bedeutung. Das in den Tracheiden der Laub- sowie Nadelhölzer durch Capillarität festgehaltene Wasser ist keineswegs in unbeweglicher Form

1) Vgl. Th. Hartig: Botan. Zeitung, 1863, und zumal Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 296.

vorhanden; vielmehr lehren unsere Experimente seine leichte Beweglichkeit kennen. Als Bewegungsursache sind aber Druckkräfte anzusehen, die in den Pflanzen selbst entwickelt werden. Wenn im Frühjahr oder auch im Sommer zu Zeiten schwacher Transpiration ein mehr oder minder energischer Wurzeldruck in den Gewächsen zu Stande kommt, so presst dieser nicht allein neue Flüssigkeitsmengen in den Holzkörper hinein, sondern setzt dadurch zugleich auch das in den Holzelementen vorhandene Wasser in eine von unten nach aufwärts gerichtete Bewegung[1]), eine Thatsache, die mit Rücksicht auf die Theorie der Wasserleitung im Holz volle Würdigung beansprucht.

85. Die Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze.

Man hat oft versucht, sich eine Vorstellung von der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser in den Pflanzen bewegt, dadurch zu bilden, dass man die Untersuchungsobjecte mit ihrer Basis in Farbstofflösungen brachte und die Höhe feststellte, in der sich der Farbstoff nach bestimmter Zeit in den Pflanzentheilen nachweisen liess. Diese Methode kann aber nicht zu brauchbaren Werthen führen. In der Pflanze erfolgt nämlich eine Zerlegung der aufgenommenen Farbstofflösung. Der Farbstoff wird von bestimmten Elementen des Gewebes (zumal den verholzten) zurückgehalten, während das Wasser sich weiter bewegt. Man kann sich leicht von der Zerlegbarkeit der Farbstofflösungen überzeugen, wenn man einen an seinem oberen Ende befestigten Fliesspapierstreifen mit dem unteren Ende in eine verdünnte wässerige Lösung von Methylanilinviolett eintauchen lässt. Nach Verlauf einiger Stunden hat sich der Farbstoff bis zu bestimmter Höhe im Papier erhoben; oberhalb der Grenze, bis zu der er vorgedrungen ist, erscheint das Papier aber nicht trocken, sondern feucht. Das Wasser ist also weiter emporgestiegen als der Farbstoff.

Wenn man einen Streifen Fliesspapier mit seinem unteren Ende in eine etwa 2procentige Lösung von Lithiumsalpeter eintauchen lässt, so ist hingegen leicht nachzuweisen, dass das Lithiumsalz bis zur nämlichen Höhe wie das Wasser emporsteigt. Schneidet man nämlich den obersten, noch durchfeuchteten Querstreifen des Papieres ab und hält ihn in die Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners, dann lässt sich die Gegenwart von Lithium auf spektroscopischem Wege (Auftreten der bekannten rothen Lithiumlinie im Spectrum) leicht constatiren. Die Lösung des salpetersauren Lithiums ist nun vielfach von Sachs[2]) zur Ermittelung der Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze benutzt worden, und auch wir wollen unsere Untersuchungen in derselben Weise wie Sachs ausführen.

Es ist aus naheliegenden Gründen erforderlich, die Experimente nicht mit abgeschnittenen Pflanzentheilen, sondern mit völlig intacten, bewurzelten Pflanzen anzustellen. Wir können z. B. mit Weiden experimentiren. Es werden vorjährige Zweige im Frühjahr abgeschnitten, mit der Basis in Nährstofflösungen gestellt und erst nach Verlauf einiger Wochen zum Versuch benutzt, wenn die Zweige ein reiches

1) Ueber die allgemeine Verbreitung des Wurzeldrucks im Pflanzenreich vgl. Scheit, Jenaische Zeitschrift f. Naturwissenschaft, neue Folge, B. 12, S. 706.

2) Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 148.

Wurzelsystem sowie viele Blätter entwickelt haben. Auch Maispflanzen, die man mit Hülfe der Methode der Wassercultur zur Entwickelung gebracht hat, können zweckmässig verwendet werden; ebenso in Blumentöpfen in guter Gartenerde erzogene Exemplare von Nicotiana, Cucurbita, Helianthus etc. Die Pflanzen müssen kräftig ausgebildet und reich beblättert sein. Man stellt sie 1 oder 2 Tage vor Beginn des eigentlichen Versuchs vor einem Südfenster auf, so dass sie dem Sonnenschein und hoher Temperatur ausgesetzt sind. Die Erde in den Töpfen wird in dieser Zeit nicht begossen. Unmittelbar vor Anfang der Experimente über die Aufnahme der Lithiumlösung seitens der Pflanzen werden diese letzteren, wenn sie sich seither mit einer Nährstofflösung in Berührung befunden hatten, aus dieser herausgenommen, um sie in eine 2procentige Lithiumsalpeterlösung zu stellen. Arbeitet man dagegen mit in Erde eingewurzelten Pflanzen, so durchtränkt man den Boden in den Töpfen sehr stark mit 2procentiger Lithiumlösung. Die Untersuchungsobjecte bleiben auch jetzt sehr günstigen Transpirationsbedingungen exponirt. Nach Verlauf einer Stunde schneidet man den Stamm der Pflanzen über der Erde ab, zerlegt ihn von oben nach unten in kleine Stücke und schneidet die Blätter ab. Bei diesen Operationen ist grosse Sauberkeit nöthig, um das eventuell in einem Theil der Pflanze vorhandene Lithiumsalz mit dem Messer nicht auf andere Theile zu übertragen. Zur Prüfung auf Lithium werden dünne Stengelstücke der zerschnittenen Untersuchungsobjecte oder kleine Blattstückchen mit der Pincette gefasst und in die Gasflamme gehalten, auf die man das Spectroskop gerichtet hat. Grössere Lithiummengen sind sofort zu erkennen; kleinere erst dann, wenn die Asche glüht. Um auf jeden Fall zu keinem zu hohen Werth für die Steighöhe des Lithiumsalzes (und also auch des Wassers) zu gelangen, wird stets nur die Entfernung des am höchsten gelegenen Stamm- oder Blattstückes, in welchem Lithium nachzuweisen ist, vom Wurzelhals in Berücksichtigung gezogen. Häufig kann es auch zweckmässig sein, den Pflanzen nach Verlauf einer bestimmten Versuchszeit, ohne sie zu decapitiren, einfach Blattstückchen zu entnehmen, um dieselben auf Lithiumgehalt zu prüfen. Beachtenswerth ist die Thatsache, von deren Richtigkeit ich mich bei der Prüfung der Methode von Sachs zur Bestimmung der Wasserleitungsgeschwindigkeit in Pflanzen überzeugte, dass man zuweilen erhebliche Mengen des aufgenommenen Lithiums in den Blättern der Untersuchungsobjecte nachweisen kann, während ein solcher Nachweis in tiefer liegenden Stammstückchen nicht gelingt. Offenbar häuft sich das Lithiumsalz in den Blattgeweben oft in grösseren Mengen als in den Stammtheilen an. Sachs macht folgende Angaben über die Steighöhe des Wassers, resp. des Lithiumsalzes in einigen Pflanzen.

	Steighöhe pro Stunde.
Salix fragilis	85 Ctm.
Zea Mays	36 „
Nicotiana Tabacum	118 „
Cucurbita Pepo	63 „
Helianthus annuus	63 „

86. Die Erscheinung des Welkens der Pflanzen.

Wenn die Transpirationsverluste einer Pflanze dauernd grösser sind, als die Wasseraufnahme, so geht dieselbe allmählich in den welken Zustand über. Ihre Blätter hängen schlaff herab, und bei ausbleibender erneuter Wasserzufuhr vertrocknet sie schliesslich. Wird dagegen der Boden, in welchem in Blumentöpfen cultivirte, eben angewelkte Gewächse (z. B. Bohnen- oder Kürbispflanzen) wurzeln, begossen, dann turgesciren die Zellen der Blätter alsbald aufs Neue, und die Untersuchungsobjecte nehmen wieder schnell ein frisches Aussehen an. Dieselbe Erscheinung tritt hervor, wenn wir den angewelkten Pflanzen kein Wasser zuführen, dafür aber ihre Transpirationsgrösse herabsetzen, indem wir sie z. B. unter eine Glasglocke stellen.

Werden reich beblätterte Zweige von Bäumen oder Sträuchern abgeschnitten und mit dem unteren Ende ihres verholzten Stammtheiles in Wasser gestellt, so bleiben die Untersuchungsobjecte gewöhnlich tagelang frisch. Um so überraschender ist es, dass die Zweige einiger Gewächse, wenn sie in der angegebenen Weise behandelt werden, trotzdem ihr Stammtheil stark verholzt ist, recht schnell welken. In der Weise verhalten sich z. B. nach meinen Beobachtungen Zweige von Salix fragilis. Im Allgemeinen bleiben aber doch abgeschnittene und in Wasser gestellte Sprosse um so länger frisch, je weiter die Entwickelung des Holzes in ihrem Stammtheil fortgeschritten ist. Wenn man z. B. etwa 1 Meter lange Sprosse von Helianthus tuberosus abschneidet und in Wasser stellt, so bleiben sie mehrere Tage hindurch frisch; 20—30 Ctm. lange Sprosse derselben Pflanze welken dagegen, in Wasser gestellt, sehr schnell, indem zuerst die jüngeren der entfalteten Blätter, später auch die älteren schlaff werden.

Wir stellen nun den folgenden sehr lehrreichen Versuch mit Helianthus tuberosus an. Wir biegen lange Sprosse von Helianthus, ohne sie von der Pflanze zu trennen und ohne sie zu knicken, so herab, dass eine 20 Ctm. vom Gipfel entfernte Stelle in das Wasser eines untergestellten Gefässes taucht, der Gipfel sowie die Blätter selbst aber nicht benetzt werden. Jetzt trennen wir das 20 Ctm. lange Sprossende durch einen mit Hülfe eines scharfen Messers geführten Schnitt von der Pflanze und sorgen vor allem dafür, dass die Schnittfläche gar nicht mit der Luft in Berührung kommt, sondern stets unter Wasser bleibt. Unser Spross bleibt tagelang frisch, während 20 Ctm. lange Helianthussprosse, die man in der Luft abgeschnitten und dann alsbald (z. B. nach $^1/_2$—2 Minuten) in Wasser gestellt hat, schnell welk werden. Die welken Helianthussprosse kann man aber auf verschiedene Weise wieder turgescent machen. Entfernt man einige der angewelkten Blätter, so nehmen die noch vorhandenen Blätter bald ein frisches Aussehen an, weil die Transpirationsverluste des Pflanzentheils jetzt durch die Wasseraufnahme gedeckt werden können. Ein welker Helianthusspross wird mit Hülfe eines Kautschukschlauches oder Kautschukkorkes auf dem kürzeren Schenkel eines Wasser enthaltenden U-förmig gebogenen Glasrohres luftdicht befestigt, so dass die Schnittfläche in das Wasser eintaucht. Jetzt wird Quecksilber in den längeren Schenkel der Glasröhre gegossen. Ein Quecksilberdruck von wenigen Centimetern genügt freilich nicht, um den welken Spross frisch zu machen; pressen wir das Wasser aber mit einem Quecksilberdruck von 30—50 Ctm. in den welken Helianthus-

spross ein, so wird dieser wieder turgescent. Von einem mit seinem unteren Ende in Wasser stehenden angewelkten Helianthusspross von 20 Ctm. Länge schneiden wir mit Hülfe eines scharfen Messers ein 5 Ctm. langes Stengelstück unter Wasser ab und sorgen dafür, dass die neu hergestellte Schnittfläche nicht mit der Luft in Berührung kommt. Der Spross wird alsbald ein frisches turgescirendes Aussehen annehmen.

Unsere Untersuchungen an Helianthussprossen, die man auch an anderweitigen Objecten wiederholen kann, lehren vor allem, dass die Sprosse welken, wenn sie in Luft abgeschnitten und dann in Wasser gestellt werden, während sie, unter Wasser abgeschnitten, frisch bleiben. Diesen merkwürdigen Phänomenen liegen verschiedene Ursachen zu Grunde. Beim Abschneiden von Pflanzentheilen in Luft werden schleimige oder klebrige Stoffe, die an der Wundfläche hervortreten, nicht entfernt, sondern sie bleiben an der Schnittfläche haften und vermindern so die Fähigkeit des Gewebes, Wasser aufzunehmen. Beim Abschneiden in Luft wird auch der negative Druck, der in den Holzelementen unversehrter transpirirender Pflanzen herrscht (vgl. unter 65), mehr oder minder ausgeglichen, und dadurch die Wasserleitung in den Stengeltheilen wesentlich beeinträchtigt. Diese verschiedenen nachtheiligen Folgen treten beim Durchschneiden der Sprosse unter Wasser, wie leicht einzusehen ist, nicht hervor [1]).

VII. Die Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen.

87. Die Wurzeln der Pflanzen als Organe der Mineralstoffaufnahme.

Den Pflanzenwurzeln kommt die Aufgabe zu, die Gewächse im Boden zu befestigen; andererseits fungiren sie aber auch als Organe der Wasser- und Mineralstoffaufnahme. Wenn wir Pflanzen mit Hülfe der Methode der Wassercultur in wässeriger Nährstofflösung cultiviren, so treten diese beiden letzteren Functionen der Wurzeln in klarster Weise hervor. Aber auch im Boden, der den Gewächsen zum Standort dient, finden sich häufig Nährstofflösungen vor, denn die von den Bodenelementen festgehaltenen und zwischen denselben circulirenden Flüssigkeitsmengen repräsentiren kein reines Wasser, sondern verdünnte Nährstofflösungen. Das Wasser ist im Stande, lösend und zersetzend auf die Bodenelemente einzuwirken. Diese geben in absorbirter Form oder in noch fester gebundener Form vorhandene Mineralstoffe an das Wasser ab, und die lösende Kraft des letzteren wird häufig noch durch die Gegenwart grösserer Kohlensäuremengen, die im Boden durch Verwesungsprocesse entstehen, wesentlich erhöht.

Auf die Mineralstoffaufnahme der Wurzeln aus Nährstofflösungen will ich hier nicht specieller eingehen, da wir die bezüglichen Verhältnisse unter 88 besprechen werden; hingegen wollen wir an dieser Stelle auf einige Beobachtungen hinweisen, die mit Rücksicht auf das Verhalten der Wurzeln im Boden Interesse beanspruchen.

1) Vgl. H. DE VRIES in Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 287, und F. v. HÖHNEL in HABERLANDT's wissensch.-praktischen Forschungen auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues, B. 2, S. 120.

Wir bringen einige Weizenkörner in guter Gartenerde, mit welcher ein Blumentopf angefüllt ist, zur Keimung, um die jungen Pflänzchen, wenn sie 4 oder 5 Wurzeln gebildet haben, vorsichtig aus dem Boden zu entfernen. Schüttelt man die Keimpflanzen kräftig, so fällt ein beträchtlicher Theil der an den Wurzeln haftenden Erde ab, ein anderer Theil löst sich aber nicht von denselben los. Die Gesammtoberfläche der Wurzeln wird von einer Erdschicht eingehüllt; nur an den Wurzelspitzen haften keine Bodentheilchen. Die genauere mikroskopische Untersuchung der Wurzeln lehrt uns, dass die Wurzelspitzen frei von Wurzelhaaren sind, während die ganze übrige Oberfläche der Wurzeln mit sehr zahlreichen Wurzelhaaren bedeckt erscheint. An diesen langgestreckten, einzelligen Organen haften die feineren Bodenelemente sehr fest; die Haare verwachsen förmlich mit den Erdtheilchen, und bei starker Vergrösserung ist dies leicht festzustellen. Die Wurzelhaare sind die Organe der Wurzeln, durch welche die Wasser- und Mineralstoffaufnahme in erster Linie vermittelt wird. Sie entziehen dem Boden die vorhandenen verdünnten Nährstofflösungen, aber indem die Wurzelhaare in der unter 90 angegebenen Weise auf die ihnen dicht angeschmiegten Bodenelemente einwirken, bereiten sie auch selbst Nährstofflösungen für die Pflanzen, welche sofort in den Organismus übertreten.

Wenn man Pflanzen von Triticum vulgare etwa 5 Wochen lang in guter Gartenerde cultivirt und die Untersuchungsobjecte nun vorsichtig aus dem Boden hebt, so ergiebt sich nach kräftigem Schütteln, dass an den Wurzelspitzen sowie an den gesammten älteren Theilen der Wurzeln keine Erde haften bleibt, wohl aber an den jüngeren Regionen der Organe oberhalb ihrer Spitzen. Diese jüngeren Regionen erscheinen mit zahlreichen Wurzelhaaren bedeckt, während die Haare der älteren Wurzeltheile bereits abgestorben sind [1]).

Verschiedene Beobachter haben festgestellt, dass das Auftreten von Wurzelhaaren an den Wurzeln der Gewächse von einer Reihe äusserer Factoren abhängig ist, von denen die Feuchtigkeitsverhältnisse als die wichtigsten angesehen werden müssen [2]). Wir cultiviren Keimlinge von Zea, Avena, Triticum, Pisum, Phaseolus in mässig feuchter Gartenerde und werden durch mikroskopische Untersuchungen zarter Längs- oder Querschnitte der einigermaassen entwickelten Wurzeln feststellen können, dass dieselben unter den bezeichneten Verhältnissen viele Haare producirt haben. Wir bringen ferner einige Individuen der genannten Pflanzen bei Ausschluss des Bodens zur Entwickelung, indem wir die Samen nach dem Anquellen oder Ankeimen auf Tüll legen, der über ein mit Wasser angefülltes Becherglas gespannt ist. Dies Glas stellen wir in eine etwas Wasser enthaltende Krystallisirschale und bedecken mit einer Glasglocke, so dass deren unterer Rand in das Wasser der Schale eintaucht. Während der Keimung der Samen sorge man durch häufigeres Entfernen der Glasglocke dafür, dass die Untersuchungsobjecte keinen Sauerstoffmangel leiden. Die in dem Wasser des Becherglases zur Ausbildung gelangenden Wurzeln mancher Pflanzen (Avena, Triticum) besitzen ebenso wie die in Contact mit mässig feuchtem Boden entwickelten Wurzeln Wurzelhaare, wovon ich mich bei Versuchen mit Triticum vulgare überzeugte. Nach Fr. Schwarz erzeugen die

1) Vgl. Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, 1865, S. 185.

2) Vgl. Fr. Schwarz in Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, H. 2.

Wurzeln von Zea, Pisum und Phaseolus dagegen in Contact mit Wasser keine Haare. Ich muss aber bemerken, dass ich wenigstens an den sich im Wasser ausbildenden, durchaus normal aussehenden und geradegestreckten Hauptwurzeln von Zea Mays zahlreiche Wurzelhaare auftreten sah. Vielleicht verhalten sich die Wurzeln verschiedener Maisvarietäten in der hier in Rede stehenden Hinsicht nicht gleichartig. Vielleicht ist es auch nicht gleichgültig, ob sich die Wurzeln in Brunnenwasser oder destillirtem Wasser entwickeln, ob sie im Finstern oder bei Lichtzutritt zur Entwickelung gelangen. In destillirtem Wasser bei Lichtabschluss erwachsene Erbsenhauptwurzeln fand ich frei von Wurzelhaaren, während in Gartenerde zur Entwickelung gelangte Erbsenwurzeln sehr haarreich sind.

88. Die Mineralstoffaufnahme der Wurzeln aus Nährstofflösungen.

In meinem Lehrbuche der Pflanzenphysiologie (S. 136) habe ich schon darauf hingewiesen, dass die Verhältnisse, welche sich auf die Mineralstoffaufnahme der Wurzeln aus Nährstofflösungen beziehen, sehr complicirter Natur und noch keineswegs in wünschenswerther Weise aufgeklärt sind. Das Resultat, welches schliesslich erzielt wird, ist nicht allein abhängig von dem Concentrationszustande der Lösung, der Natur der vorhandenen Nährstoffe, ihrem Verbrauch im Organismus der Pflanze etc., sondern ebenso von der Natur der Pflanze, den äusseren Bedingungen, unter denen sie sich entwickelt, und manchen anderen Umständen. Weitere Forschungen müssen hier unter sorgfältiger Zergliederung des Gesammtphänomens näheren Aufschluss geben. An dieser Stelle legen wir uns die Frage vor, in welcher Weise sich die Mineralstoffaufnahme der Wurzeln gestaltet, wenn denselben die wässerige Lösung eines einzigen Salzes zur Verfügung steht, eine Frage, die sicher mit Rücksicht auf die Mineralstoffaufnahme seitens der Wurzeln aus completen Nährstofflösungen Interesse beansprucht.

Wir quellen eine Anzahl wohl ausgebildeter Samen von Phaseolus multiflorus in Wasser ein, keimen sie in feuchten Sägespänen an, bestimmen das Lebendgewicht jeder Keimpflanze und befestigen sie einzeln mit Hülfe von Watte in den Bohrungen passender Korke, welche kleine Glasgefässe von etwas über 100 Ccm. Inhalt verschliessen. Einige Gefässe sind vorher mit 100 Ccm. 0,250-procentiger, andere mit 100 Ccm. 0,075- oder 0,050-procentiger Kalisalpeterlösung beschickt worden. Wir stellen das Gewicht der Apparate fest und lassen sie nun so lange an einem wohl beleuchteten Orte stehen, bis sie etwa 50 Grm. an Gewicht verloren haben, also etwa die Hälfte der ursprünglichen Flüssigkeitsmenge durch die Wurzeln der Bohnenpflanzen aufgesogen worden ist. Die Versuchspflanzen werden aus den Lösungen entfernt, mit destillirtem Wasser abgespült (dies Wasser fügt man dann den Rückständen in den Gläsern hinzu), mit Fliesspapier abgetrocknet und gewogen. Man hat also einerseits die unter Vermittelung der Pflanzen verdunstete, andererseits die in das Lebendgewicht der Pflanzen übergegangene Wassermenge ermittelt. Eine Fehlerquelle unseres Versuchsverfahrens liegt darin, dass durch die Watte kein luftdichter Verschluss unserer Apparate hergestellt wird, und somit eine kleine Wasserquantität auch ohne Beihülfe der Pflanzen in die Luft übergehen kann. Die Grösse dieser Fehlerquelle ist aber leicht zu constatiren, und der Versuchs-

fehler auch auszuschliessen, wenn man einige Gläser mit 100 Ccm. der Salzlösungen anfüllt, nicht mit Pflanzen beschickt, sondern nur mit einem Kork sowie Watte verschliesst und ihren Gewichtsverlust während der Versuchszeit ermittelt. Ebenso hat es ja gar keine Schwierigkeit, die Zunahme an Trockensubstanz, welche die Untersuchungsobjecte während ihrer Vegetationszeit erfahren, mit in Berücksichtigung zu ziehen. Wird schliesslich noch der Salzgehalt der Flüssigkeitsrückstände in den Gläsern festgestellt, so liegen alle Daten zur Berechnung vor. Diese ergiebt, dass Bohnenpflanzen aus 0,250-procentigen Kalisalpeterlösungen relativ viel Wasser und wenig Salz aufnehmen; es bleibt also ein Flüssigkeitsrückstand in den Gläsern zurück, der concentrirter ist als die ursprünglich den Versuchspflanzen dargebotene Lösung. (DE SAUSSURE'sches Gesetz[1]). In Contact mit 0,075- oder 0,050-procentigen Kalisalpeterlösungen nehmen die Bohnenpflanzen aber eine relativ concentrirte Lösung auf; der Flüssigkeitsrückstand ist verdünnter als die ursprünglich dargebotene Lösung[2]). Auf jeden Fall beansprucht die Thatsache also Interesse, dass die Pflanzenwurzeln die ihnen zur Disposition stehenden Nährstofflösungen nicht als solche aufsaugen, sondern je nach Umständen mit einer bestimmten Wasserquantität bald kleinere bald grössere Salzmengen aufnehmen. Zu einem nahezu richtigen Resultat gelangt man übrigens auch schon, wenn man Bohnenkeimlinge in angegebener Weise in Glasgefässen, die 100 Ccm. der Lösungen des Kalisalpeters von verschiedenen Concentrationen enthalten, cultivirt und ohne weitere Wägungen einfach den Salpetergehalt der Flüssigkeitsrückstände bestimmt, nachdem die Hälfte der ursprünglichen Flüssigkeitsquantitäten aufgesogen worden ist.

89. Die Corrosionserscheinungen.

Die Wurzeln sind nicht allein im Stande, die Gewächse mit Nährstoffen zu versorgen, indem sie fertige Nährstofflösungen aufnehmen, sondern sie vermögen auch den compacten Bodenelementen absorbirte oder gar noch fester gebundene Substanzen zu entziehen. Die aufnehmenden Wurzelzellen, zumal die Wurzelhaare, scheiden, wie wir unter 90 sehen werden, auf jeden Fall bestimmte Körper ab, welche schon lösend auf die Bodentheilchen einwirken müssen, wenn sie in die mit Wasser imbibirten und den Erdtheilchen dicht angeschmiegten Membranen der Wurzelhaare gelangt sind. Die Bodenelemente erfahren auf diese Weise Corrosionen, und die durch die Wurzelthätigkeit selbst gelösten Substanzen treten in die Pflanze über.

Zur Constatirung der Thatsache, dass die Wurzeln corrodirende Wirkungen geltend zu machen vermögen, stellen wir das folgende Experiment an. Ein kleiner Blumentopf wird etwa bis zur Hälfte mit feuchtem Sand angefüllt. Wir legen nun eine auf der Oberfläche sorgfältig polirte Marmorplatte auf den Sand. (Die Marmorplatte, mit welcher ich experimentirte, und welche bei Abschluss des Versuchs die in Fig. 72 dargestellten Corrosionen erfahren hatte, besass 45 Mm. Durchmesser und 7 Mm. Dicke.) Der Blumentopf wird jetzt völlig mit feuchtem Sand angefüllt und ein ge-

1) Vgl. DE SAUSSURE, Recherches sur la végétation, 1804, S. 247.
2) Vgl. W. WOLF, Versuchsstationen, B. 6 u. 7.

quollener Same von Phaseolus in denselben gelegt. Die Keimung beginnt alsbald. Die Wurzeln der Pflanze dringen nach unten in den Sand vor, aber sie treffen nach einiger Zeit auf die Marmorplatte. Auf dieser wachsen sie in horizontaler Richtung hin, um, wenn sie den Rand der Platte erreicht haben, wieder mehr oder minder vertical im Sande weiter zu wachsen. Unterbricht man den Versuch, nimmt die Marmorplatte aus dem Bodenmaterial heraus, spült sie mit Wasser ab und trocknet sie mit einem weichen Tuche ab, so erblickt man an ihrer Oberfläche ein getreues Abbild derjenigen Wurzeltheile, die ihr angeschmiegt waren. Die Politur ist an den Contactstellen zwischen Marmor und Wurzeln entfernt. Ich erhielt, wie Fig. 72 zeigt, ziemlich breite Corrosionslinien, eine Erscheinung, die offenbar auf die corrodirende Thätigkeit der seitlich von den Wurzeln ausgehenden Wurzelhaare zurückzuführen ist. Die abwärts wachsende Hauptwurzel traf bei *a* auf die Marmorplatte; sie schlug dann die durch den breiten Streifen in der Abbildung angedeutete Richtung ein, während die übrigen Corrosionslinien den Seitenwurzeln ihre Entstehung verdanken. Zu bemerken ist noch, dass es sich empfiehlt, die Bohnenpflanze, deren Wurzeln die Corrosionen bedingen, nicht zu lange Zeit (etwa nur 10—14 Tage) vegetiren zu lassen, da bei längerer Versuchsdauer sehr zahlreiche Wurzeln mit der Marmorplatte in Contact gerathen, und die Corrosionslinien der einzelnen Wurzeln nicht mehr deutlich hervortreten[1]).

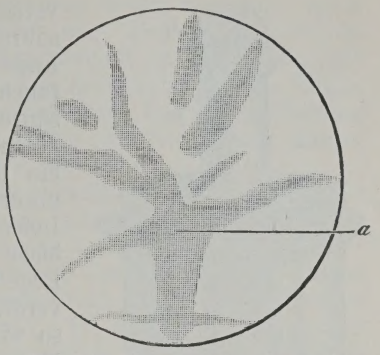


Fig. 72. Marmorplatte, deren Oberfläche durch die Wurzeln eines Phaseolusexemplares corrodirt worden ist.

90. Die Ursachen der Corrosionserscheinungen.

Die Corrosionserscheinungen können offenbar nur dadurch zu Stande kommen, dass die den Gesteinmassen oder den Bodentheilchen dicht anliegenden Wurzeln bestimmte Stoffe ausscheiden, die befähigt sind, zersetzend auf jene einzuwirken. Es ist hier natürlich vor allem an die Kohlensäure zu denken, welche in Folge des Athmungsprocesses in den Wurzelzellen entsteht, aber auch organische Säuren, ja selbst Salzsäure, kommen als weitere Substanzen, die mit Rücksicht auf die Entstehung der Corrosionen Berücksichtigung verdienen, in Betracht. Wenn die Zellhäute der Wurzelzellen mit verdünnten Lösungen der erwähnten Körper imbibirt sind, so ist damit sofort die Möglichkeit einer Einwirkung der Wurzeln auf die Gestein- und Bodenelemente gegeben, ein Verhältniss, das unter Beachtung der Resultate des folgenden Experiments sofort klar hervortritt[2]).

Wir stellen den in Fig. 73 abgebildeten Apparat zusammen. Eine weite Glasröhre *P* wird am oberen Ende mit einem Stück Schweinsblase

1) Die Corrosionserscheinungen sind zuerst von Sachs, vgl. dessen Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, 1865, S. 188, eingehender studirt worden.

2) Dies Experiment ist zuerst von Zöller auf Anregung Liebig's ausgeführt worden.

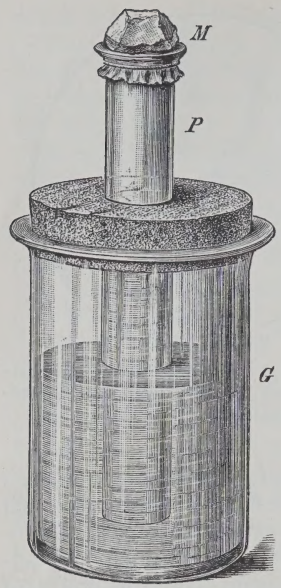


Fig. 73. Apparat zur Veranschaulichung einiger Vorgänge, die sich beim Zustandekommen der Corrosionserscheinungen geltend machen.

verschlossen und völlig mit verdünnter Salzsäure angefüllt. Wir verschliessen das untere Ende der Glasröhre mit dem Daumen und tauchen dieses Röhrenende in verdünnte Salzsäure ein, die sich in einem kleinen Becherglase *G* befindet. Zum Verschluss des letzteren dient ein mit einer Bohrung versehener Kork. In unserem Apparat vertritt die Flüssigkeit im Innern desselben den Zellinhalt, die Schweinsblase aber die Membran der Wurzelzellen. Legen wir ein Stückchen Marmor *M* auf die mit verdünnter Salzsäure imbibirte Schweinsblase, so wird dasselbe alsbald theilweise in Lösung übergehen, und die gebildete Lösung von Clorcalcium geht auf dem Wege der Diffusion in die Salzsäure über. Wir können die Gegenwart von Calcium leicht mit Hülfe von oxalsaurem Ammoniak in der Flüssigkeit, die im Apparat vorhanden ist, feststellen. Ebenso üben die in den Membranen der Wurzelzellen in imbibirtem Zustande vorhandenen Lösungen einen zersetzenden Einfluss auf Gesteine sowie Bodenelemente aus; es entstehen die Corrosionserscheinungen, und die gelösten Stoffe werden seitens der Pflanze aufgesogen.

Aus den folgenden Experimenten, welche ich kürzlich ausführte, die aber zur Sicherstellung der fraglichen Verhältnisse noch weiter ausgedehnt werden müssen, scheint mir hervorzugehen, dass nicht allein Kohlensäure und organische Säuren, sondern auch Salzsäure als Stoffe anzusehen sind, die Bedeutung für die Entstehung der Corrosionserscheinungen besitzen. Wir cultiviren Maispflanzen mit Hülfe der Methode der Wassercultur (vgl. unter 1) in einer Flüssigkeit, die in 1000 Grm. Wasser 1 Grm. schwefelsauren Kalk, $^1/_4$ Grm. Chlorkalium, $^1/_4$ Grm. schwefelsaure Magnesia, $^1/_4$ Grm. saures phosphorsaures Kali und etwas Eisenchlorid enthält. Die Culturgefässe brauchen nicht gross zu sein; es genügt, wenn sie nur 250 Ccm. Flüssigkeit fassen. Wenn die Maispflanzen das vierte Blatt in den stickstofffreien Nährstofflösungen entwickelt haben, so befinden sie sich auf jeden Fall in hohem Grade im Zustande des Stickstoffhungers. Zwei Maispflanzen wurden nun aus der erwähnten Nährstofflösung herausgenommen und in zwei Gefässe versetzt, von denen das eine Wasser (*a*), das zweite 0,1procentige Chlorammoniumlösung enthielt (*b*). Ferner wurde ein drittes Gefäss (*c*) nur mit Chlorammoniumlösung ohne Pflanze beschickt. Eine Pflanze blieb in der stickstofffreien Nährstofflösung (*d*), eine fernere Pflanze verblieb ebenfalls in der ursprünglichen Nährstofflösung, nachdem derselben Chlorammonium (auf 100 Ccm. Wasser 0,1 Grm.) hinzugefügt worden war (*e*). Nach etwa 8 Tagen wurden Lakmuspapierstreifen 30 Secunden lang mit den Flüssigkeiten von *b* und *e*, andere 15 Secunden lang mit den Flüssigkeiten von *a*, sowie *d*, und darauf 15 Secunden lang mit der Flüssigkeit von *c* in Berührung gebracht. Jene Streifen des blauen Lakmuspapiers färbten sich erheblich intensiver roth als diese, eine Thatsache, die nicht anders als durch die Annahme erklärt werden

kann, dass das Chlorammonium unter Bildung freier Salzsäure durch Vermittelung der Pflanzen zersetzt worden ist. Das in das Gewebe der Pflanzen eingedrungene Chlorammonium kommt in den Zellen mit organischen Säuren in Contact. Diese wirken zersetzend auf die Chlorverbindung ein, und da die entstehende Salzsäure keine Verarbeitung in den Gewächsen findet, so wird sie in die Nährstofflösung ausgeschieden und erhöht den sauren Charakter derselben.

Will man sich davon überzeugen, dass organische Säuren im Stande sind, Chloride auch ausserhalb der Pflanze unter Salzsäurebildung zu zersetzen, so sind die folgenden Experimente auszuführen.

Wir stellen zwei Bechergläser auf, die 500 Ccm. destillirtes Wasser enthalten. *a* erhält einen Zusatz von 3 Grm. Oxalsäure, *b* einen solchen von 3 Grm. Oxalsäure und 0,4 Grm. NaCl. In beide Gefässe hängen wir nun in der Weise, wie es unter 23 angegeben worden ist, Marmorplatten hinein. Die Flüssigkeit in *a* bleibt klar, weil sich die Marmorplatte schnell mit einer Kruste von oxalsaurem Kalk umgiebt, die der weiteren Einwirkung der Oxalsäure ein Hinderniss entgegenstellt. Die Flüssigkeit in *b* trübt sich dagegen schnell bedeutend, eine Thatsache, deren Ursache nur in folgender Reaction liegen kann. Die Oxalsäure zersetzt das Chlornatrium. Die frei gemachte Salzsäure wirkt auf den Marmor ein. Es entsteht Chlorcalcium, und auf dieses wirkt nun die Oxalsäure ein. Der gebildete oxalsaure Kalk, welcher sich alsbald in grosser Menge zu Boden setzt, ruft die Trübung der Flüssigkeit hervor.

Auch auf andere Weise kann man sich nach meinen Erfahrungen davon überzeugen, dass organische Säuren im Stande sind, zersetzend auf Chloride einzuwirken [1]). Es werden sechs Versuchsflüssigkeiten hergestellt: a. 15 Ccm. destillirtes Wasser; b. 15 Ccm. Wasser mit 0,020 Grm. Citronensäure; c. 15 Ccm. Wasser mit 0,7 Grm. Chlorkalium; d. 15 Ccm. Wasser mit 0,7 Grm. Chlornatrium; e. 15 Ccm. Wasser mit 0,020 Grm. Citronensäure und 0,7 Grm. Chlorkalium; f. 15 Ccm. Wasser mit 0,020 Grm. Citronensäure und 0,7 Grm. Chlornatrium. Die Flüssigkeiten bleiben nun etwa 24 Stunden lang ruhig stehen und erhalten dann einen Zusatz von einigen Tropfen wässeriger, sehr verdünnter Methylanilinviolettlösung. Die Flüssigkeiten a, b, c und d zeigen nahezu den nämlichen violetten Farbenton; die Flüssigkeiten e und f sind dagegen deutlich blau gefärbt. Diese Reaction zeigt die Gegenwart freier Salzsäure an, denn während sehr verdünnte Citronensäurelösungen die Farbe des Methylanilinvioletts kaum verändern, nimmt der Farbstoff in Contact mit sehr verdünnter Salzsäurelösung einen blauen Farbenton an.

91. Das Absorptionsvermögen des Bodens.

Es ist eine sehr wichtige Thatsache, dass der Boden im Stande ist, eine Reihe von Körpern, mit denen er in Berührung kommt, sehr energisch festzuhalten (zu absorbiren). Kali, Ammoniak und Phosphorsäure werden vom Boden am lebhaftesten absorbirt und dadurch vor dem Versinken in die Tiefe geschützt, eine Thatsache, die offenbar von hoher Bedeutung für das Pflanzenleben ist. Wenn in Wasser lösliche

1) Vgl. Detmer, Botan. Zeitung, 1884, No. 50.

Salze, mögen dieselben im Boden selbst entstanden oder dem Boden direct von aussen zugeführt worden sein, die Kali, Ammoniak oder Phosphorsäure enthalten, mit den Feinerdepartikeln in Berührung gerathen, so erfolgt je nach der Natur des Bodens eine mehr oder minder lebhafte Absorption der genannten Stoffe. Sie werden chemisch gebunden, und wir wollen uns im Folgenden von der Thatsächlichkeit der Absorption eines Körpers, nämlich des Ammoniaks, durch geeignete Experimente überzeugen [1]). (Methode nach Knop.)

100 Grm. lufttrockener Feinerde eines Bodens (über Darstellung der Feinerde vgl. unter 24) werden mit 10 Grm. Kreidepulver innig gemischt in einer Flasche mit 200 Ccm. einer Salmiaklösung, die in 208 Ccm. genau 1 Grm. Salmiak enthält. Man lässt die Erde mit der Flüssigkeit 48 Stunden lang unter häufigem Umschütteln in Berührung, filtrirt 40 Ccm. Flüssigkeit ab und dampft dieselben bis auf etwa 10 Ccm. ein. In diesen 10 Ccm. Flüssigkeit bestimmt man den Stickstoff; ebenso in 40 Ccm. der ursprünglichen Salmiaklösung, die man auch durch Eindunsten auf 10 Ccm. concentrirt hat. 40 Ccm. der Chlorammoniumlösung müssen, wenn dieselbe richtig bereitet worden ist, genau 40 Ccm. Stickstoff (bei 0° C. und 760 Mm. Barometerstand) geben. Aus den Resultaten der Stickstoffbestimmungen, die man mit Hülfe eines Azotometers (vgl. über diesen Apparat Zeitschrift f. analytische Chemie, Bd. 9, S. 226, und ebendaselbst Bd. 13, S. 101 u. S. 383) und bromirter Natronlauge ausführt, lässt sich die vom Boden absorbirte Ammoniakmenge leicht berechnen. Die bromirte Lauge (Auflösung von unterbromigsaurem Natron) stellt man durch Auflösen von 100 Grm. Aetznatron in 1250 Ccm. Wasser und Zusatz von 25 Ccm. Brom zu der erkalteten Flüssigkeit her. Man wende für jeden Versuch auf je 10 Ccm. durch Eindampfen concentrirter Salmiaklösung 50 Ccm. Lauge an. Für Feststellung der Stickstoffabsorption durch 60 Ccm. Entwickelungsflüssigkeit (50 Ccm. bromirte Lauge und 10 Ccm. Wasser) benutze man die von Dietrich (Zeitschrift f. analytische Chemie, Bd. 5) berechnete Tabelle. Das Azotometer ist für einen Preis von etwa 30 Mk. von Ehrhardt und Metzger in Darmstadt zu beziehen.

1) Ausführliches über das Absorptionsvermögen des Bodens und dessen Ursachen vgl. bei Detmer, Lehrbuch d. Bodenkunde, Leipzig, 1876.

DRITTER ABSCHNITT.

Die Stoffwechselprocesse im vegetabilischen Organismus.

I. Das Verhalten der stickstoffhaltigen Verbindungen.

92. Die Eiweissstoffe, welche man aus Pflanzentheilen abscheiden kann.

Wir sehen hier gänzlich von den bereits unter 43 behandelten organisirten plasmatischen Gebilden der Pflanzenzellen ab, sondern wollen nur den Nachweis liefern, dass verschiedene Eiweisskörper im vegetabilischen Organismus angetroffen werden.

Wenn man Weizen- oder Gerstenfrüchte zermahlt und das Pulver mit Wasser einige Zeit in Berührung lässt, so kann man durch Filtration eine klare Flüssigkeit gewinnen, in der das Vorhandensein von Albumin nachzuweisen ist. Erhitzt man diese Flüssigkeit, so gerinnt das Eiweiss nämlich und scheidet sich als Coagulum ab. Wenn man den aus Früchten (z. B. Weinbeeren) ausgepressten und filtrirten Saft erwärmt, so erhält man ebenfalls ein Eiweisscoagulum.

Zu der zweiten grossen Gruppe der pflanzlichen Eiweissstoffe, den Pflanzencaseinen, rechnet man das Legumin der Bohnen, Erbsen etc., das Conglutin der Lupinen und das Glutencasein der Gräser. Wir untersuchen das Conglutin etwas genauer. Samen von Lupinus luteus werden auf einer kleinen Handmühle zermahlen, das Pulver wird mit destillirtem Wasser übergossen, und dem Gemisch so viel Kalilauge hinzugefügt, dass die Flüssigkeit bleibend schwach alkalisch reagirt. Die Samenrückstände werden mit Hülfe eines Haarsiebes von der conglutinhaltigen Flüssigkeit getrennt, diese darauf filtrirt und ganz schwach mit Essigsäure angesäuert. Das ausgefällte Conglutin sammelt man auf einem Filter und wäscht den Eiweisskörper mit Wasser aus. Das Conglutin ist unlöslich in Wasser. Suspendirt man aber etwas Conglutin in Wasser und fügt Phosphorsäure, Essigsäure, Citronensäure oder eine Auflösung von phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4) hinzu, so wird der Eiweissstoff aufgelöst [1]).

---

1) Genaueres vgl. bei Detmer in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. 2, Heft 4. Auf Weyl's Untersuchungen über die Pflanzencaseine (vgl. Detmer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 157) gehe ich hier nicht näher ein.

Repräsentanten der dritten Gruppe der pflanzlichen Eiweissstoffe sind zumal in grosser Menge im Weizenmehl vorhanden. Dasselbe wird mit Wasser angerührt und der Teig zwischen den Händen unter einem continuirlichen, dünnen Wasserstrahl ausgeknetet. Es bleibt eine zähe, elastische Masse, der Kleber zurück, welcher nur noch kleine Mengen Stärke beigemischt sind. Der Kleber, der in kalihaltigem Wasser löslich ist, besteht aus einer Reihe von Eiweissstoffen (Kleberproteinstoffen), namentlich aus Glutenfibrin, Gliadin und Mucedin, welche ihm zum Theil durch Alkohol entzogen werden können [1]).

93. Die makro- und mikrochemischen Eiweissreactionen.

Handelt es sich darum, eine der empfindlichsten mikrochemischen Eiweissreactionen (die Biuretreaction) kennen zu lernen, so wird eine wässerige Albuminlösung oder Wasser, in welchem etwas Conglutin aus Lupinensamen suspendirt ist, zum Sieden erhitzt, wenig Natronlauge hinzugesetzt und in die heisse Flüssigkeit ein Tropfen Fehling'scher Lösung mit Hülfe eines Glasstabes gebracht. Die Gegenwart von Eiweissstoffen giebt sich durch Violettfärbung der Versuchsflüssigkeit zu erkennen. Zur Darstellung der Fehling'schen Lösung werden 34,65 Grm. durch Umkrystallisiren gereinigten Kupfervitriols in 200 Ccm. Wasser aufgelöst. Diese Lösung vermischt man mit einer Auflösung von 173 Grm. weinsauren Natron-Kalis in 480 Ccm. Natronlauge von 1,14 spc. Gewicht und verdünnt die Flüssigkeit bei 15° C. auf 1000 Ccm.

In den Zellen des Parenchyms der Cotyledonen von Phaseolus sind bekanntlich neben den Stärkekörnern reichliche Eiweissmengen vorhanden. Schnitte aus den Bohnencotyledonen, welche aber mindestens zwei Zellschichten dick sein müssen, kann man daher bequem benutzen, um die mikrochemischen Eiweissreactionen kennen zu lernen. Einige Ccm. concentrirter Kupfervitriollösung [2]) oder einer Lösung von weinsaurem Kupferoxyd [3]) werden in ein Schälchen gebracht. Das weinsaure Kupferoxyd bereitet man, indem man eine Lösung von 5 Thl. Kupfervitriol mit einer Lösung von 9 Thl. einfach weinsaurem Kali mischt und von dem entstehenden, relativ schwer löslichen schwefelsauren Kali abfiltrirt. Die Schnitte gelangen in eine der Kupfersalzlösungen, werden nach einigen Minuten mit einer Pincette gefasst, durch Eintauchen in reines Wasser oberflächlich abgespült und sofort in Kalilauge gelegt, die zum Sieden erhitzt ist. Der Inhalt der Zellen färbt sich in Folge seines Eiweissgehaltes violett.

Wird ein Schnitt aus den Cotyledonen einer trockenen Erbse auf dem Objectträger in ein aus 1 Thl. Wasser und 2 Thl. Glycerin bestehendes Gemisch gelegt, mit Deckglas bedeckt, und ein Tropfen Jodlösung an den Deckglasrand gebracht, so färben sich die Stärkekörner alsbald blau, die Aleuronkörner und die Grundmasse, in der letztere eingebettet sind, aber in Folge ihres Eiweissreichthums gelb.

In Contact mit Zucker und Schwefelsäure färben sich die Proteinstoffe roth, und um diese Reaction kennen zu lernen, bringen wir z. B. Schnitte aus den Cotyledonen eines trockenen Bohnensamens auf den

1) Genaueres vgl. bei Ritthausen, Die Eiweissstoffe d. Getreidearten, 1872, S. 28.
2) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 3, S. 187.
3) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 8, S. 538.

Objectträger in einen Tropfen concentrirter Rohrzuckerlösung und lassen vom Deckglasrande aus concentrirte Schwefelsäure auf das Object einwirken.

Werden Schnitte aus eiweissreichen Pflanzentheilen auf dem Objectträger einige Minuten lang in einen Tropfen kalter rauchender Salpetersäure gelegt und dann mit Ammoniak behandelt, so nehmen sie eine intensiv gelbe Farbe an (Xanthoproteinsäurereaction).

Das Millon'sche Reagens, welches man bereitet, indem man Quecksilber in der Kälte mit dem gleichen Gewichtstheil concentrirter rauchender Salpetersäure behandelt und die Flüssigkeit nach erfolgter Auflösung des Metalls mit ihrem gleichen Volumen Wasser verdünnt, färbt die Eiweissstoffe ziegelroth. Es ist zu empfehlen, das Reagens nur im frisch bereiteten Zustande zu benutzen. Wenn man Schnitte aus den Cotyledonen von Pisum in einen Tropfen des eventuell etwas erwärmten Millon'schen Reagens einlegt, so wird der Inhalt der Zellen desorganisirt; er färbt sich aber in Folge der Anwesenheit der Eiweissstoffe nach einiger Zeit ziegelroth.

In neuerer Zeit hat man zahlreiche Reagentien (zumal Lösungsmittel) auf die protoplasmatischen Gebilde der Zellen einwirken lassen und auf Grund der erzielten Ergebnisse die Ansicht zu begründen versucht, nach welcher eine ganze Reihe verschiedener eiweissartiger Stoffe im Protoplasma, Zellkern etc. vorhanden sind. In der That ist sicher, dass z. B. das Nuclein, wie wir unter 96 sehen werden, wesentlich andere Eigenschaften als das gewöhnliche Eiweiss besitzt; indessen, abgesehen von diesem und einigen wenigen anderen Resultaten, hat der bezeichnete Weg, obgleich principiell nichts gegen denselben einzuwenden ist, bis jetzt zu keinen wesentlichen Ergebnissen geführt. So z. B. kann man den meisten diesbezüglichen Angaben von Frank Schwarz (vgl. Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen, Bd. 5, H. 1) von einem streng chemischen Standpunkte aus keinen Werth beimessen.

94. Allgemeines über das Verhalten der Eiweissstoffe in der Pflanze.

An anderer Stelle sind schon die Aleuronkörner der Samen besprochen worden. Dieselben sind reich an Reserveproteinstoffen, und ebenso wie die Stärkekörner bei der Keimung der Samen bedeutsame Veränderungen erfahren, unterliegen auch die Aleuronkörner solchen Veränderungen, wenn der Keimungsprocess beginnt. Die Proteinkörner werden nämlich aufgelöst, ihre Substanz wird zur Bildung lebensthätiger, protoplasmatischer Gebilde verbraucht. Wir haben nur nöthig, um uns von diesem Auflösungsprocess zu überzeugen, Samen von Ricinus communis 24 Stunden lang in Wasser einzuquellen und dann möglichst zarte Schnitte aus dem Endosperm zu untersuchen. Die Proteinkörner erscheinen nicht mehr als glänzende Gebilde, wie im ruhenden Samen, sondern ihre Hüllmasse ist aufgelöst und mit der Grundmasse zu einer trüben Emulsion vermischt.

Wenn man Lupinensamen auf einer Handmühle zermahlt und das Pulver mit Wasser behandelt, so kann man sich leicht davon überzeugen, dass in der Lösung reichliche Eiweissmengen vorhanden sind. Man braucht zu der zum Sieden erhitzten Flüssigkeit nur etwas Kali und einen Tropfen Fehling'scher Lösung hinzuzufügen. Auf jeden Fall

geht bei der Behandlung des Lupinensamenpulvers mit Wasser und ebenso bei der Quellung der unversehrten Samen vor allem Conglutin in Lösung. Dieser Eiweissstoff ist aber unlöslich in reinem Wasser, daher müssen Substanzen zugegen sein, welche die Auflösung des Proteinkörpers vermitteln. Untersucht man die Reaction der Lupinenpulverextracte mit Hülfe von Lackmuspapier, so ergiebt sich, dass dieselbe eine ziemlich intensiv saure ist. Diese saure Reaction wird unter Umständen durch die in manchen Lupinensorten vorhandene Citronensäure bedingt (und die Citronensäure ist ja ein Lösungsmittel für Conglutin); sie kann aber auch auf andere Weise zu Stande kommen. Vertheilt man etwas Conglutin in Wasser, so nimmt die Flüssigkeit höchstens eine ganz schwach saure Reaction an. Fügt man eine Lösung von phosphorsaurem Kali $K_2 H PO_4$, die als solche schwach alkalisch reagirt, hinzu, so löst sich das Conglutin auf, und die Flüssigkeit reagirt viel stärker sauer als zuvor. Der Eiweissstoff entzieht dem $K_2 H PO_4$ Kali, wodurch seine Auflösung zu Stande kommt, während sich andererseits saures phosphorsaures Kali $K H_2 PO_4$ bildet. Die Samen enthalten nun bekanntlich relativ reichliche Kali- und Phosphorsäuremengen, und wenn sie mit Wasser in Berührung gelangen, so kann sich nach dem Gesagten offenbar leicht eine Lösung bilden, die stark sauer reagirt und doch erhebliche Quantitäten von Eiweissstoffen aus der Gruppe der Pflanzencaseine enthält[1]).

Auf Experimente, welche lehren, dass in Folge des Stoffwechsels bei der Keimung der Samen weder Ammoniak noch freier Stickstoff abgeschieden werden, ist schon an anderer Stelle (vgl. unter 18) hingewiesen worden.

95. Das Pepsin und die Peptone.

Die Eiweissstoffe als solche sind nicht im Stande, die Zellhaut oder Membranen von ähnlicher Beschaffenheit auf osmotischem Wege zu passiren. Es besitzt daher die Thatsache ein physiologisches Interesse, dass manche Pflanzen Fermente produciren, welche die Eiweisskörper in Peptone, Substanzen, die wenigstens eine geringe Diffusionsfähigkeit besitzen, umzuwandeln vermögen.

Peptonisirend wirkende Fermente (Pepsin) werden von den Drüsenköpfchen der Droseraarten secernirt und sind im Nepenthessecret sowie in manchen Milchsäften (z. B. demjenigen von Carica Papaya) vorhanden[2]). Wem kein Papayotin, das übrigens käuflich ist, oder kein pepsinhaltiger Milchsaft zur Verfügung steht, der kann den folgenden lehrreichen Versuch anstellen, um wenigstens den Process der Peptonisirung überhaupt kennen zu lernen. Eine Pepsinlösung ist nämlich leicht zu erhalten, wenn man frische Stücke der Schleimhaut des Schweinemagens mit Glycerin extrahirt und filtrirt. Werden nun etwa 500 Ccm. Wasser, das 0,2 % Salzsäure enthält, in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade auf 40° C. erwärmt, 40 Grm. Fibrin einige Zeit mit der warmen Flüssigkeit digerirt, bis der Eiweissstoff möglichst

1) Vgl. Detmer in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, B. 2, Heft 4.

2) Vgl. zumal Hansen, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, B. 3, H. 2.

aufgequollen ist, so bewirkt Zusatz einiger Tropfen des fermenthaltigen Glycerins in einigen Minuten eine fast vollständige Peptonisirung und Verflüssigung des Fibrins. Das erforderliche Fibrin (aus Ochsenblut) ist vom Fleischer zu beziehen und kann in Glycerin aufbewahrt werden. Will man den Eiweissstoff zu einem Verdauungsversuch benutzen, so wäscht man ihn sorgfältig mit Wasser aus und bringt ihn dann in die verdünnte, warme Salzsäure. Benutzt man Nepenthessecret oder Milchsäfte als pepsinhaltige Flüssigkeiten, so ist wenigstens in manchen Fällen dafür Sorge zu tragen, dass die verdünnte Salzsäure, in der man das Fibrin aufgequollen hat, längere Zeit auf einer Temperatur von 40° C. erhalten bleibt, denn die Peptonisirung geht in diesen Fällen oft nicht so schnell vor sich. Uebrigens ist in manchen Fällen der Pepsingehalt von Milchsäften sehr schnell zu constatiren, und ich beobachtete dies z. B. bei Ausführung des folgenden Experiments, das leicht wiederholt werden kann. In ein Probirglas wurden einige Ccm. sehr verdünnter Salzsäure gebracht, wenige Stückchen Fibrin hinzugefügt, und das Probirglas nun in Wasser eingetaucht, das auf 40° C. erwärmt war. Nach erfolgtem Aufquellen des Fibrins wurden der Flüssigkeit einige Tropfen Milchsaft hinzugesetzt, der aus den Stielen im unreifen Zustande abgeschnittener Feigenfrüchte ausgeflossen war. Die Peptonisirung und Verflüssigung des Fibrins trat in wenigen Augenblicken ein.

Wenn Pepsin auf Eiweissstoffe einwirkt, so machen sich complicirte chemische Processe geltend. Als Endproducte sind verschiedene Peptone anzusehen, die aber durch die Biuretreaction leicht als solche erkannt werden können. Wenn man eine kleine Quantität einer peptonhaltigen Flüssigkeit erwärmt, mit Kalilauge neutralisirt und nun Fehling'sche Lösung hinzufügt, so nimmt die Mischung keine violette Färbung, wie bei Gegenwart von Eiweissstoffen, sondern eine purpurrothe Färbung an.

96. Das Nuclein.

Während das Protoplasma besonders reich an Eiweissstoffen ist, muss das Nuclein als ein charakteristischer Bestandtheil des Zellkerns angesehen werden. Von den Proteinstoffen unterscheidet sich das stickstoffhaltige Nuclein durch seinen Phosphorgehalt sowie sein eigenthümliches Verhalten zu Reagentien. In letzterer Beziehung ist namentlich wichtig, dass das Nuclein nicht von pepsinhaltigen Flüssigkeiten angegriffen wird. Um dies zu beobachten, bringt man ein Stückchen der Epidermis von der Blattunterseite einer Tradescantie (ich benutzte mit vorzüglichem Erfolg Tradescantia virginica) auf den Objectträger und fügt eine pepsinhaltige Flüssigkeit (Mischung von 1 Volumentheil Glycerinextract aus Schweinemagen mit 3 Volumentheilen 0,2procentiger Salzsäure) hinzu. Die Untersuchung lehrt, dass das Protoplasma sich contrahirt hat, während die Kerne in den Zellen bald völlig homogen werden. Die Kerne nehmen dann an Volumen zu und stellen endlich gelbliche, stark lichtbrechende Gebilde dar, die keine weitere Veränderung erfahren. Wenn die homogen gewordenen Kerne beginnen, sich zu vergrössern, wird das contrahirte Protoplasma an einer oder an mehreren Stellen blasig aufgetrieben. Schliesslich platzt die Blase, und es bleiben nur unbedeutende Protoplasmareste übrig, die den Kern um-

geben. Verdünnte Salzsäure verändert die mit der künstlichen Verdauungsflüssigkeit behandelten Kerne nicht, während sie sich in verdünnter Sodalösung sofort auflösen [1]).

97. Der mikrochemische Nachweis des Asparagins.

Ich habe mit Nachdruck die Ansicht zur Geltung zu bringen gesucht [2]), dass die lebendigen Eiweissmoleküle des Protoplasmas, die physiologischen Elemente, wie ich dieselben nenne, unter allen Umständen und in jeder in Lebensthätigkeit begriffenen Zelle durch Dissociationsprocesse in stickstoffhaltige und stickstofffreie Verbindungen zerfallen. Diese letzteren werden verathmet und liefern das für den Wachsthumsprocess der Zellen erforderliche Material etc., während die ersteren sich bald in mehr oder minder grossen Quantitäten in den Zellen anhäufen oder unter Beihülfe von stickstofffreien Körpern zu Proteinstoffen regenerirt werden. Zudem besitzen die stickstoffhaltigen Dissociationsproducte der physiologischen Elemente des Protoplasmas (Asparagin, Glutamin, Leucin, Tyrosin, Allantoin) insofern grosse Bedeutung, als sie bei der Stoffwanderung im vegetabilischen Organismus eine wichtige Rolle spielen.

Unter allen stickstoffhaltigen Zersetzungsproducten der Eiweissstoffe scheint das Asparagin (Amidobernsteinsäureamid) die hervorragendste Bedeutung zu beanspruchen. Wir widmen demselben aus diesem Grunde unsere specielle Aufmerksamkeit und wollen zunächst sehen, in welcher Weise es gelingt, seine Gegenwart auf mikrochemischem Wege in den Pflanzenzellen zu constatiren.

Versetzen wir eine concentrirte wässerige Asparaginlösung mit absolutem Alkohol, so scheidet sich das Asparagin ab, da es fast unlöslich in Alkohol ist. Ebenso kann man das Asparagin, welches im Zellsaft gelöst ist, durch Alkohol niederschlagen, und da die sich bildenden, dem rhombischen System angehörenden Krystalle eine beträchtliche Grösse sowie charakteristische Form besitzen, so ist es in der angedeuteten Weise möglich, die Gegenwart des Säureamids in den Zellen auf mikrochemischem Wege festzustellen [3]).

Die Schnitte, welche dicker sein müssen als eine Zellenschicht, damit nicht alle Zellen geöffnet sind, legt man in ein Uhrgläschen, in dem sich absoluter Alkohol befindet, schwenkt sie schnell in der Flüssigkeit hin und her und untersucht sie. Ist nur sehr wenig Asparagin in den Zellen vorhanden, so thut man am besten, die Schnitte auf dem Objectträger mit absolutem Alkohol zu betupfen, das Deckglas aufzulegen, um das Präparat nach dem Trocknen der mikroskopischen Beobachtung zu unterziehen.

---

1) Vgl. Zacharias, Botanische Zeitung, 1881, S. 169.

2) Vgl. Detmer, Vergleichende Physiologie d. Keimungsprocesses der Samen, 1880, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 12, Wollny's Forschungen auf d. Gebiete d. Agriculturphysik, Bd. 5, und Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883.

3) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 8, S. 533, und Borodin, Botan. Zeitung, 1878, S. 804.

98. Die quantitative Bestimmung des Asparagins.

2 Grm. Trockensubstanz der Keimpflanzen von Lupinus, die sich bei Lichtabschluss so weit entwickelt haben, dass ihr hypocotyles Glied beträchtlich gestreckt erscheint, werden $^1/_4$ Stunde lang mit 100 Ccm. Wasser ausgekocht. Man filtrirt die Lösung ab (sollte dies Schwierigkeiten haben, so kann man das Filtriren durch Einleiten von Kohlensäure in die Flüssigkeit sehr erleichtern), wäscht den Rückstand aus und bringt das Filtrat auf 200 Ccm. 100 Ccm. werden nach Zusatz von 10 Ccm. Salzsäure 1—$1^1/_2$ Stunde lang unter Ersatz des verdunstenden Wassers gekocht, wodurch das Asparagin sich in Asparaginsäure und Ammoniak spaltet, und dann auf ein kleines Volumen eingeengt. Den Stickstoff des Ammoniaks bestimmt man mit Hülfe bromirter Lauge (bereitet durch Auflösen von 100 Grm. Aetznatron in 1250 Ccm. Wasser und Eintragen von 25 Ccm. Brom in die völlig erkaltete Lösung) im Azotometer (vgl. unter 91). Das gefundene Stickstoffvolumen wird auf 0° C. und 760 Mm. Barometerstand reducirt, und es ist dann leicht, die Gewichtsmenge des Stickstoffs und daraus die Quantität des vorhandenen wasserfreien Asparagins (C_4 H_8 O_3 N_2) zu berechnen. Manchmal enthalten Keimpflanzenextracte kleine Mengen eines Körpers, der schon ohne vorheriges Kochen mit Salzsäure Stickstoff bei der Behandlung mit bromirter Lauge ausgiebt. Es ist daher erforderlich, 100 Ccm. des Keimpflanzenauszugs direct im Azotometer mit der Lauge zu schütteln und die eventuell gefundene Stickstoffquantität von derjenigen abzuziehen, die man nach dem Kochen des Extractes mit HCl findet [1]).

99. Das Verhalten des Asparagins in den Pflanzen.

Handelt es sich darum, Aufklärung über die physiologische Function des Asparagins zu gewinnen, so bieten sich uns in erster Linie die Keimpflanzen von Lupinus luteus als ausgezeichnete Untersuchungsobjecte dar. Bei der Keimung der Lupine streckt sich das hypocotyle Glied sehr bedeutend, die Cotyledonen werden über die Erde gehoben, streifen die Samenschale alsbald ab und fungiren als Assimilationsorgane. Alsbald streckt sich dann auch das epicotyle Stengelglied, und die ersten Laubblätter entfalten sich. Das hypocotyle Glied hat ein mächtiges Rindenparenchym entwickelt, welches den Gefässbündelkreis sowie das Mark umschliesst. In den Stielen der Cotyledonen sind die Gefässbündel halbmondförmig angeordnet. Das Grundgewebe der Cotyledonen ist nur in der peripherischen Region derselben reich an Chlorophyllkörnern. Die Vertheilung des Asparagins in der sich unter normalen Verhältnissen, also auch bei Lichtzutritt, entwickelnden Keimpflanze von Lupinus gestaltet sich nun nach den mikrochemischen Untersuchungen Pfeffer's, von denen ich eine ganze Reihe wiederholt habe, wie folgt: Die Samen sind asparaginfrei. Hat die Wurzel 12 und das hypocotyle Glied 2—4 Mm. Länge erreicht, so ist in diesen Organen sowie im unteren Theile der Samenlappenstiele wenig Asparagin vorhanden. Keimpflanzen von 30—40 Mm. Wurzellänge, deren Cotyledonen noch nicht wesentlich über die Erde hervorgehoben worden sind, führen in der Wurzel As-

1) Vgl. Sachsse, Die Chemie u. Physiologie d. Farbstoffe etc., 1877, S. 257, und Detmer, Physiol.-chemische Untersuchungen über die Keimung etc., 1875, S. 74.

paragin; dasselbe fehlt aber der Wurzelspitze. In den Rindenzellen des hypocotylen Gliedes sowie im unteren Theile der Stiele der Cotyledonen ist Asparagin vorhanden. Der Lamina der Cotyledonen fehlt aber das Asparagin noch. Ist die Keimung so weit fortgeschritten, dass sich die Cotyledonen ausbreiten, dann ist in diesen Asparagin vorhanden. In den Samenlappenstielen, zumal aber im hypocotylen Glied, finden sich jetzt sehr reichliche Asparaginmengen. Das Säureamid kommt aber nur in den Zellen des Parenchyms dieser Organe vor; den Elementen der Gefässbündel fehlt dasselbe, wie immer, vollkommen. Wenn sich das epicotyle Stengelglied streckt, so ist auch in diesem Asparagin nachzuweisen, während die übrigen Organe der Keimpflanze, zumal das hypocotyle Glied, allmählich asparaginärmer werden. Bei weiter fortschreitender Entwickelung der Pflanzen unter normalen Vegetationsbedingungen verschwindet das Asparagin gänzlich aus allen Organen, weil jetzt in Folge lebhafter Assimilation so erhebliche Mengen stickstofffreier organischer Körper erzeugt werden, dass die durch Dissociation gebildeten stickstoffreichen Zersetzungsproducte der physiologischen Elemente sofort ihrer Gesammtmasse nach zu Eiweissstoffen regenerirt werden können. Beachtung verdient auch noch die Thatsache, dass in dem Maasse, wie die Asparaginbildung bei der Keimung Fortschritte macht, die Menge der Reserveproteinstoffe in den Reservestoffbehältern abnimmt. Untersucht man z. B. die Cotyledonen von Lupinus, wenn die Streckung des epicotylen Gliedes beginnt, so erscheint der Zellinhalt bereits sehr aufgeklärt, und die Behandlung der Schnitte mit Jod lehrt, dass der Eiweissgehalt der Zellen kein übermässig grosser mehr sein kann [1]).

Um den bestimmten Nachweis dafür zu liefern, dass die Rückbildung von Eiweissstoffen aus Asparagin nur unter Vermittelung von stickstofffreien Körpern erfolgen kann, füllen wir zwei Blumentöpfe mit Gartenerde oder mit Sand, den wir mit Nährstofflösung getränkt haben, und legen einige Samen von Lupinus luteus in den Boden. Die Pflanzen des einen Topfes entwickeln sich unter ganz gewöhnlichen Bedingungen vor einem Fenster. Der andere Topf wird in dem unter 16 beschriebenen Apparat ebenfalls dem Licht ausgesetzt, aber die Untersuchungsobjecte bilden sich in kohlensäurefreier Luft aus. Sie können somit nicht assimiliren, und daher hört ihr Wachsthum, wenn sich das zweite Laubblatt entfaltet hat, auf. Jetzt und auch noch später bis zu ihrem schliesslich erfolgenden Absterben sind reichliche Asparaginmengen in den Organen der Keimlinge, zumal im hypocotylen Gliede, nachzuweisen, weil keine Kohlehydrate gebildet werden, welche die Eiweissregeneration vermitteln könnten. Die sich unter normalen Verhältnissen ausbildenden Lupinenpflanzen, welche fort und fort kräftig weiter wachsen, enthalten hingegen zu derselben Zeit, während welcher die bei Kohlensäureausschluss entwickelten Untersuchungsobjecte sehr asparaginreich sind, kein Asparagin mehr oder höchstens kleine Quantitäten desselben [2]).

Werden Keimlinge von Lupinus bei Lichtabschluss zur Entwickelung gebracht, so sind auch noch die nach Verlauf längerer Zeit absterbenden Untersuchungsobjecte asparaginreich, weil es unter den bezeichneten Umständen an stickstofffreiem Material, das für die Eiweissregeneration verwendet werden könnte, fehlt.

1) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 8.
2) Vgl. Pfeffer, Botanische Zeitung, 1874, S. 249.

II. Der Athmungsprocess der Pflanzen.

100. Experimente zur allgmeinen Orientirung über den Athmungsprocess der Pflanzen.

Wir sehen hier zunächst völlig von einer quantitativen Bestimmung derjenigen Körper ab, welche im Athmungsprocesse erzeugt werden. Es kommt an dieser Stelle nur auf eine allgemeine Orientirung an, die uns zumal mit den verschiedenen Formen der Athmung bekannt machen soll.

Bei unseren ersten Experimenten verwenden wir den unter 13 in Fig. 14 abgebildeten Apparat, den wir auch schon bei dem Studium des durch den Assimilationsprocess herbeigeführten Gaswechsels benutzten. Wir bringen etwa 3 Grm. angequollener Weizenkörner in den oberen, erweiterten Theil des Eudiometers, schieben, um das Herabfallen der Körner zu verhindern, etwas Glaswolle nach und tauchen das untere Ende des Steigrohres in Quecksilber ein. Wir bringen nun genau in derselben Weise, wie es unter 13 angegeben worden ist, eine kleine Menge Wasser über das Quecksilber im Steigrohr, heben das Quecksilber etwas empor und schliessen den Apparat. Der Stand des Quecksilbers im Steigrohr wird bei möglichst constanter Temperatur und bei Ausbleiben erheblicherer Schwankungen des Luftdrucks im Laufe von 1 bis 2 Tagen keine wesentlichen Aenderungen erfahren. Die Weizenkörner keimen, und man kann leicht nachweisen, dass diese Lebensäusserung der Untersuchungsobjecte mit Athmung verbunden ist. Wenn wir nämlich nach ungefähr zweitägigem Verweilen der Keimpflanzen im Apparat ein Stückchen Kali in dem Quecksilber aufsteigen lassen, welches sich natürlich in dem über diesem befindlichen Wasser auflöst, so ist alsbald eine Erhebung des Quecksilbers im Steigrohre zu constatiren. Das Kali absorbirt die in Folge der Athmung der Weizenkeimlinge gebildete Kohlensäure. Diese kann, wie unser Experiment lehrt, nur dadurch entstanden sein, dass der Sauerstoff der die Untersuchungsobjecte im Apparate umgebenden Luft von denselben aufgenommen und zur Oxydation gewisser Zellenbestandtheile verwendet worden ist. Wenn Pflanzen Sauerstoff aufnehmen und dafür Kohlensäure abgeben, so unterhalten sie, wie man sagt, normale Athmung.

Wir lassen ferner 2 Grm. Weizenkörner und 2 Grm. Hanfkörner aufquellen, beschicken zwei Eudiometer mit den Untersuchungsobjecten und tauchen die Steigröhren derselben in Quecksilber oder Wasser, welches wir hier auch als Sperrflüssigkeit benutzen können, da es sich ja nur um Versuche zur allgemeinen Orientirung handelt, ein. Nachdem wir die Apparate an ihrem oberen Ende verschlossen haben, stellen wir sie dicht neben einander auf und constatiren im Laufe von 1—2 Tagen, dass der Stand der Sperrflüssigkeit in dem mit Weizenkeimlingen beschickten Apparat bei möglichst constanter Temperatur sich nicht wesentlich ändert, während sich die Sperrflüssigkeit im Steigrohre des anderen Apparates allmählich beträchtlich erhebt. Die Weizenkeimlinge unterhalten nur normale Athmung; sie nehmen Sauerstoff auf und expiriren eine entsprechende Kohlensäuremenge. Die Hanfkeimlinge produciren freilich ebenfalls Kohlensäure unter Vermittlung des aufgenommenen Sauerstoffes, aber sie binden zudem noch eine nicht unerhebliche Sauerstoffmenge, welche sie nicht zur Kohlensäurebildung, sondern zur

Ueberführung sauerstoffarmer organischer Körper (Fett) in sauerstoffreichere Substanzen (Kohlehydrate) verwenden. Die Hanfkeimlinge — und ihnen analog verhalten sich überhaupt solche Keimpflanzen, denen zumal fette als stickstofffreie Reservestoffe zur Verfügung stehen — unterhalten also nicht nur normale Athmung, sondern zudem noch eine Form der Athmung, die ich als Vinculationsathmung bezeichnet habe (Sauerstoffaufnahme ohne entsprechende Kohlensäureabgabe).

Das Eudiometer, in welches wir die Weizenkörner eingeführt haben, benutzen wir noch zu weiteren Beobachtungen. Wir lassen den Apparat, ohne ihn zu öffnen, ruhig noch einige Tage lang stehen. Es zeigt sich, dass die Sperrflüssigkeit im Steigrohr selbst bei constant bleibender Temperatur mehr und mehr sinkt, und dass nach einiger Zeit Gasblasen aus dem Apparat entweichen. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Keimlinge, nachdem der Sauerstoff des beschränkten Luftvolumens, mit dem sie sich in Contact befinden, verbraucht ist, nicht zu athmen aufhören. Sie produciren auch jetzt noch Kohlensäure, was eben die beobachtete Zunahme des Luftvolumens bedingt, aber nicht allein der Kohlenstoff, sondern auch der Sauerstoff dieser Kohlensäure entstammt der organischen Substanz der Pflanzenzellen. Wir haben es hier mit einer weiteren Form der Athmung, mit der inneren Athmung zu thun, die zu Stande kommt, wenn Pflanzentheile in einem sauerstofffreien Raum verweilen.

Es ist endlich zweckmässig, in Vorlesungen über Pflanzenphysiologie den folgenden Versuch anzustellen, um den Nachweis in ganz augenfälliger Weise zu liefern, dass die normale Athmung der Pflanzen mit Kohlensäureexpiration verbunden ist.

Wir leiten mit Hülfe eines Aspirators Luft über eine grössere Menge von Keimpflanzen, Blüthen oder anderen Untersuchungsobjecten, die sich in einem Glaskolben befinden. Der Kolben ist mittelst eines zweifach durchbohrten Kautschukkorks verschlossen. Die eine Bohrung dient zur Aufnahme des die Luft zuleitenden, die andere zur Aufnahme des die Luft ableitenden Glasrohres. Die Luft passirt, bevor sie in den Kolben eintritt, ein U-förmig gebogenes, weites Glasrohr, das mit Kalilauge getränkte Bimssteinstückchen enthält, sowie einen mit klarem Barytwasser bis zur Hälfte angefüllten Glascylinder. Die Luft wird also entkohlensäuert, und das Barytwasser hat den Zweck, den Nachweis zu liefern, dass diese Entkohlensäuerung völlig gelungen ist. Nachdem die Luft den mit dem Pflanzenmaterial beschickten Respirationskolben durchströmt hat, tritt sie in einen Glascylinder über, der ebenfalls klares Barytwasser enthält. Bei Ausführung der Experimente trübt sich dieses sehr schnell, weil es die von den Pflanzen durch Athmung producirte Kohlensäure absorbirt. Als Aspirator genügt es für die hier in Rede stehenden Versuche völlig, eine grosse mit Wasser angefüllte Flasche zu benutzen. Durch den doppelt durchbohrten, die Flasche verschliessenden Kork sind zwei Glasröhren eingeführt. Die eine Röhre mündet unmittelbar unter dem Kork und steht mit dem Cylinder in Verbindung, der das zur Absorption der von den Pflanzen producirten Kohlensäure dienende Barytwasser enthält. Der eine Schenkel des anderen Glasrohres reicht bis auf den Boden des mit Wasser angefüllten Aspirators. Der zweite, sich ausserhalb des Aspirators befindende Schenkel ist etwas länger als der erste Schenkel und an seinem Ende zu einer feinen Spitze ausgezogen. Saugt

man hier, so wirkt das Glasrohr als Heber. Es fliesst continuirlich Wasser aus dem Aspirator ab, und den ganzen Respirationsapparat durchströmt ein Luftstrom.

101. Die Methode zur Bestimmung der Kohlensäuremenge, welche Pflanzen bei normaler Athmung aushauchen.

Handelt es sich darum, die Kohlensäuremenge, welche Pflanzen oder Pflanzentheile bei normaler Athmung aushauchen, genau und unter möglichst normalen Lebensbedingungen zu ermitteln, so leitet man am besten einen kohlensäurefreien, continuirlichen Luftstrom über die Untersuchungsobjecte hin und stellt den Kohlensäuregehalt der mit den Pflanzen in Berührung gewesenen Luft fest.

Zur Entkohlensäuerung streicht die in den Respirationsapparat eintretende Luft zunächst durch einige U-förmige Glasröhren, welche mit Stücken festen Aetzkalis oder mit Bimssteinstückchen gefüllt sind, welche man mit Kalilauge getränkt hat. Um die Luft wieder in einen feuchten Zustand zu versetzen, wird sie darauf durch eine mit ausgeglühten und mit Wasser durchtränkten Bimssteinstückchen angefüllte Flasche geleitet und tritt dann direct in den die Untersuchungsobjecte enthaltenden Respirationsraum ein oder passirt zunächst noch ein klares Barytwasser enthaltendes Gefäss, damit man sicher constatiren kann, dass sie kohlensäurefrei ist. Auf absolut luftdichten Verschluss der am besten mit Siegellack zu überziehenden Körke der das Kali enthaltenden Röhren ist natürlich das grösste Gewicht zu legen.

Was den Respirationsraum, d. h. denjenigen Theil des Respirationsapparates anbetrifft, in welchem sich die zu untersuchenden Pflanzen befinden, so kann derselbe in verschiedener Weise hergestellt werden. Müssen die Respirationsversuche auf längere Zeit ausgedehnt werden, und soll z. B. mehrere Tage lang ein continuirlicher Luftstrom über keimende Samen hingeleitet werden, so benutzt man den bei der Besprechung der Frage nach der Bedeutung des freien atmosphärischen Stickstoffs für die Pflanze erwähnten und in Fig. 16 abgebildeten Apparat. Die abgewogenen Samen werden unter der Glocke in einem kleinen Glase zum Quellen gebracht, ferner unter der Glocke auf feuchter Glaswolle angekeimt und dann auf den Tüll oder eine sonstige Bedeckung des abgebildeten, unter der Gocke stehenden Culturgefässes gelegt. Wenn es sich nur um kurze Versuchsperioden, z. B. um solche von einigen Stunden handelt, so benutze ich mit gutem Erfolg den in Fig. 74 abgebildeten Apparat. Der Respirationsraum wird durch einen Becherkolben *B* gebildet, der je nach Bedarf eine Capacität von 200—600 Ccm. besitzen kann. Dieser Kolben hängt in dem grossen, mit Wasser angefüllten, als Thermostat dienenden Gefäss *A*. Die Abbildung lässt erkennen, wie dies mit Hülfe eines mit einem Scharnier *a* und einer Hakenvorrichtung *b* versehenen Deckels des Thermostaten ermöglicht werden kann. Der aus Zinkblech gefertigte Deckel besitzt drei Oeffnungen. Die mittlere dient zur Aufnahme des Halses des Respirationskolbens. In die beiden seitlichen Oeffnungen sind die Enden eines Drahtes hineingebogen, welcher zweckmässig zum Niederdrücken des Respirationskolbens in das Wasser des Thermostaten benutzt wird. Durch die eine der beiden seitlichen Oeffnungen können je nach Bedürfniss während der Untersuchungen Eisstückchen oder genügende

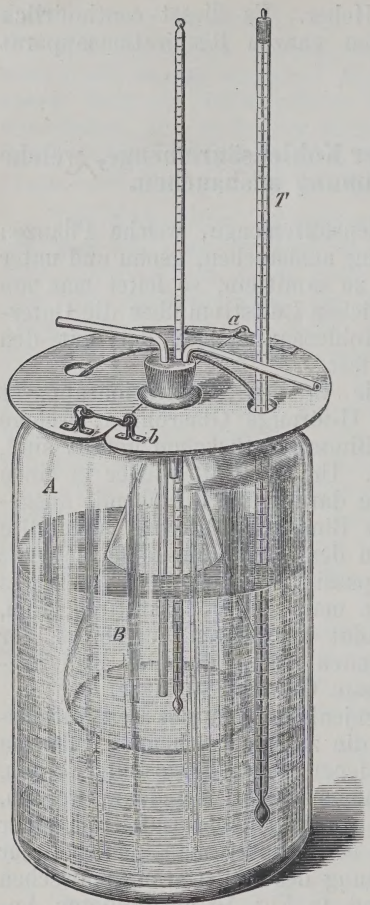


Fig. 74. Respirationskolben (*B*), der in dem als Thermostat dienenden Gefäss *A* hängt.

Quantitäten kalten, resp. warmen Wassers in den Thermostaten eingeführt werden, um die Temperatur des Wassers desselben constant zu erhalten. Die andere seitliche Oeffnung dient zur Aufnahme eines Thermometers *T*. Sollen die Respirationsversuche im Dunkeln durchgeführt werden, so stellt man den beschriebenen Apparat in einen Pappcylinder und umlegt ihn oben mit schwarzen Tüchern. Mit Bezug auf den Respirationskolben *B* ist noch zu bemerken, dass derselbe mit einem dreifach durchbohrten Kautchukkork verschlossen wird. In der einen Bohrung steckt ein Thermometer, in der zweiten das die entkohlensäuerte Luft zuleitende, in der dritten das die von den Untersuchungsobjecten producirte Kohlensäure ableitende Glasrohr. Diesen Respirationskolben kann man übrigens auch bei längere Zeit (z. B. mehrere Tage) dauernden Respirationsversuchen verwenden. Handelt es sich darum, die Kohlensäuremengen festzustellen, welche Samen von Beginn ihrer Keimung an während ihrer Evolution ausscheiden, so werden die gequollenen Untersuchungsobjecte in den Kolben gebracht, nachdem man den Boden desselben mit feuchter Watte, feuchter Glaswolle oder mehreren Lagen feuchten Fliesspapiers bedeckt hat. Man leitet einen continuirlichen Luftstrom durch den Apparat und stellt ab und an (etwa alle 24 Stunden) die Menge der producirten Kohlensäure fest.

Zur quantitativen Bestimmung der Kohlensäure verwendet man zweckmässig Barytwasser, das sich in Pettenkofer'schen Barytröhren, vgl. Fig. 75, befindet. Die den Respirationsraum verlassende Luft tritt bei *e* in das Barytrohr ein, durchströmt das Barytwasser und verlässt das Rohr wieder bei *a*. Es ist zu empfehlen, um auf keinen Fall Verluste an Kohlensäure zu erleiden, nicht eine einzige, sondern zwei

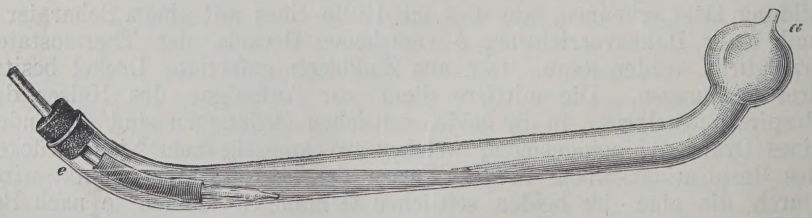


Fig. 75. Pettenkofer'sche Barytröhre.

Barytröhren zu benutzen. Von *a* aus wird dann die erste mit der zweiten Barytröhre durch einen Kautschukschlauch verbunden. Das Barytwasser stellt man dar, indem man 105 Grm. Barythydrat mit 5 Liter destillirtem Wasser übergiesst und noch 15 Grm. Chlorbarium hinzufügt. Die Mischung bleibt unter häufigem Umschütteln 24 Stunden lang in einem verschlossenen Gefässe stehen, dann stellt man sie zum Absetzen ruhig hin und giesst die klare Lösung in das Gefäss ab, aus welchem sie zum Gebrauch entnommen werden soll. Dies Gefäss stellt eine grosse zweihalsige Wulf'sche Flasche dar, die unten noch mit einem Tubulus versehen ist. Von hier aus kann das Barytwasser in eine Burette einfliessen, und die Luft, die dadurch aus der Burette verdrängt wird, tritt durch eine Schlauchverbindung aus dem oberen Ende der Burette in die Wulf'sche Flasche durch den einen Hals derselben ein. Der zweite Hals dient dazu, durch Kalilauge entkohlensäuerte Luft zuzuführen, wenn man aus der Burette Barytwasser abfliessen lässt. Die Barytröhren werden direct aus der Burette mit klarem Barytwasser angefüllt, und zwar verwendet man zweckmässig für jede Röhre 100 Ccm. der Absorptionsflüssigkeit. Diejenige Röhre, in welche die Luft unmittelbar aus dem Respirationsraum eintritt, muss bei tagelang dauernden Respirationsversuchen je nach Bedarf alle 12 oder 24 Stunden durch eine frisch gefüllte ersetzt werden, während die zweite Barytröhre nur dann, wenn sich in ihr eine erheblichere Quantität kohlensauren Baryts bildet, durch eine frisch gefüllte zu ersetzen ist. Das Barytwasser giesst man aus den Barytröhren in geeignete Gläser, verschliesst diese luftdicht und lässt sie so lange ruhig stehen, bis sich der kohlensaure Baryt völlig abgesetzt, und die darüber stehende Flüssigkeit durchaus geklärt hat. 20 oder 30 Ccm. dieser klaren Flüssigkeit, die man mit Hülfe einer Pipette abhebt, dienen, ebenso wie 20 oder 30 Ccm. des ursprünglichen Barytwassers, zum Titriren. Es werden 2,8636 Grm. reiner Oxalsäure genau abgewogen und in 1 Liter Wasser aufgelöst. Von dieser Oxalsäurelösung lässt man aus einer Burette so viel zu dem mit etwas Rosolsäurelösung versetzten Barytwasser hinzutreten, bis die neutrale Reaction der Flüssigkeit eingetreten ist. 1000 Ccm. der Oxalsäurelösung entsprechen genau 1 Grm. Kohlensäure; 1,0 Ccm. demnach 0,001 Grm. CO_2 und 0,1 Ccm. 0,1 Mlgrm. CO_2.

Um einen Luftstrom durch den zusammengestellten Respirationsapparat zu leiten, wird das Kugelende der zweiten Barytröhre mittelst eines Glasrohres und kurzer Kautschukverbände mit dem Rohr *c* eines aus Glas gefertigten Tropfaspirators, vergl. Fig. 76, in Verbindung gebracht. Das erforderliche Wasser strömt diesem Apparat aus einem über demselben hängenden Wasserkasten oder aus der Wasserleitung zu, und der

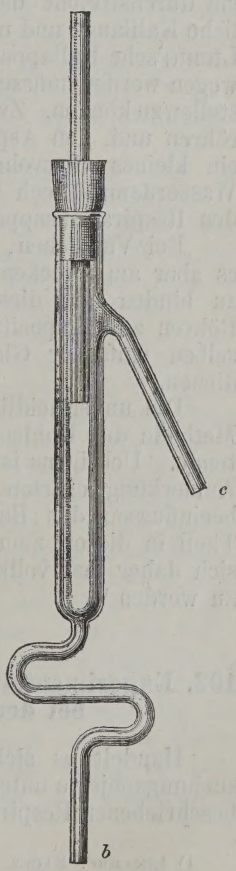


Fig. 76. Tropfaspirator, etwa $^1/_3$ der natürlichen Grösse.

Wasserzufluss wird mit Hülfe eines Hahnes so regulirt, dass den Respirationsapparat je nach Umständen 2 oder 3 Liter Luft in der Stunde durchströmen. Bei *b* ist ein langes Glasrohr an den Aspirator angebracht, durch welches das Wasser abläuft. Die Ausgiebigkeit des Luftstroms kann nach der Wassermenge, die den Aspirator verlassen hat, bemessen oder mit Hülfe einer eingeschalteten Gasuhr controlirt werden. Auf die Gleichmässigkeit des den Respirationsapparat passirenden Luftstromes ist natürlich, zumal bei vergleichenden Untersuchungen über Pflanzenathmung, grosses Gewicht zu legen.

Die bei Athmungsversuchen unter Benutzung des beschriebenen Respirationsapparates von den Untersuchungsobjecten gebildete Kohlensäure kann auch noch auf andere Weise, wie es im Vorstehenden angegeben worden ist, quantitativ bestimmt werden. Ich habe z. B. mit Erfolg, abgesehen von der charakterisirten Methode, das folgende Verfahren angewendet. Die den Respirationsraum verlassende Luft passirt einige grosse Chlorcalciumröhren, um ihr Wasser völlig zu verlieren; sie durchstreicht dann die in einem Liebig'schen Kaliapparat befindliche Kalilauge und noch zwei Chlorcalciumröhren, welche, ebenso wie der Liebig'sche Kaliapparat, bei Beginn und nach Abschluss der Versuche gewogen werden müssen, um die Menge der producirten Kohlensäure feststellen zu können. Zwischen die zweite der zuletzt erwähnten Chlorcalciumröhren und den Aspirator schalte ich noch ein Chlorcalciumrohr und ein kleines Glasrohr, das Kalistückchen enthält, ein, damit weder Wasserdampf noch Kohlensäure von der Seite des Aspirators her in den Respirationsapparat eindringen können.

Bei Versuchen, die längere Zeit hindurch fortgeführt werden, ist es aber am zweckentsprechendsten, die Kohlensäure durch Barytwasser zu binden und dieses zu titriren. Stehen keine Pettenkofer'schen Röhren zur Disposition, so kann man sich auch wohl an Stelle derselben einfacher Glascylinder, die man mit Barytwasser anfüllt, bedienen.

Die unvermeidlichen Versuchsfehler, mit denen die hier behandelte Methode der Kohlensäurebestimmung behaftet ist, sind sehr unbedeutende. Uebrigens ist darüber Näheres in meiner und Sachsse's in der Anmerkung citirten Abhandlung zu vergleichen. Diese Versuchsfehler beeinflussen das Resultat der Kohlensäurebestimmungen zudem zum Theil in dieser, zum Theil in entgegengesetzter Richtung, compensiren sich daher fast vollkommen und brauchen kaum in Rücksicht gezogen zu werden [1]).

102. Experimentelle Untersuchungen über die Kohlensäurebildung bei der normalen Athmung der Pflanzen.

Handelt es sich darum, die Athmungsenergie bestimmter Untersuchungsobjecte unter wechselnden Bedingungen mit Hülfe des unter 101 beschriebenen Respirationsapparats festzustellen, so ist es bei derartigen

1) Literatur: Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, 1865, S. 271; Sachsse, Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum, Leipzig, 1872; Detmer, Physiologische Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen etc., Jena, 1875; Detmer, Sitzungsberichte d. Jenaischen Gesellschaft f. Medicin und Naturwissenschaft, Jahrgang 1881.

vergleichenden Experimenten stets erforderlich, vor Beginn der eigentlichen Athmungsversuche einige Zeit Luft durch den Apparat zu leiten, ohne die von den im Respirationsraum befindlichen Pflanzen gebildete Kohlensäure zu bestimmen. Die Luft im Respirationsraum muss erst die den herrschenden Bedingungen entsprechende Zusammensetzung besitzen, bevor mit den Kohlensäurebestimmungen begonnen werden kann.

Man bringt z. B. etwa 60 Keimpflanzen von Pisum sativum oder andere Keimlinge in den Respirationskolben, leitet zwei Stunden lang Luft durch den zusammengestellten Apparat und schaltet dann erst die Barytröhren ein, um die im Laufe von 1 oder 2 Stunden von den Untersuchungsobjecten producirte Kohlensäuremenge festzustellen.

Bei Versuchen über den directen Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf den Verlauf der Athmung der Pflanzen ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Untersuchungsobjecte stets derselben constanten Temperatur ausgesetzt bleiben, was mit Hülfe des Thermostaten, in dessen Wasser der Respirationskolben hineinhängt, unschwer erreicht werden kann. Als Untersuchungsobjecte benutzte ich z. B. Fruchtkörper von Cantharellus, von allen grünen Theilen befreite Blüthen etc. und fand bei vergleichenden Untersuchungen im Dunkeln und im diffusen Licht, dass Lichtzutritt im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Athmungsenergie der Pflanzentheile ausübt. Nur einzelne Untersuchungsobjecte producirten bei Lichtzutritt mehr Kohlensäure als im Dunkeln. Vor Beginn eines jeden Respirationsversuches muss dem Apparat natürlich auch hier längere Zeit Luft durchströmen[1]).

Der indirecte Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Athmungsenergie grüner Pflanzentheile ist ein erheblicher. Man bringt einen beblätterten, in kräftigem Wachsthum begriffenen Zweig einer Crataegusart in den Respirationskolben und leitet 12—20 Stunden einen constanten Luftstrom durch den Respirationsapparat, während das Untersuchungsobject vor dem Zutritt des Lichtes geschützt ist. Alle 4 Stunden werden neue Barytröhren vorgelegt, und in der Absorptionsflüssigkeit der ausgeschalteten Röhren die producirte Kohlensäure bestimmt. Es wird sich ergeben, dass die Athmungsenergie des grünen Pflanzentheils im Dunkeln allmählich erheblich sinkt. Ist eine auffallende Depression der Athmungsenergie eingetreten, so wird der Thermostat, in welchem der Respirationskolben hängt, einige Zeit (etwa 6 Stunden lang) dem Einfluss des directen Sonnenlichtes ausgesetzt. Um die assimilatorische Thätigkeit des Sprosses im Kolben zu fördern, leitet man ab und an etwas Kohlensäure in den Apparat ein und beginnt endlich wieder mit den Respirationsversuchen. Natürlich wird zunächst etwa 2 Stunden lang entkohlensäuerte Luft durch den Apparat geleitet, ohne die Barytröhren vorzulegen, und ferner ist darauf zu achten, dass die Untersuchungsobjecte während des Experimentes denselben Temperaturverhältnissen wie bei den vor der Insolation ausgeführten Versuchen ausgesetzt sind. Man wird finden, dass die Athmungsgrösse des Crataeguszweiges in Folge der Besonnung wieder gestiegen ist. Die Blätter haben unter dem Einfluss des Lichts assimilirt, und damit ist neues Material producirt worden, welches für den Zweck der Athmung verwerthet werden kann[2]).

---

1) Vergl. Detmer, Sitzungsberichte d. med.-naturwissenschl. Gesellschaft zu Jena, 1881.

2) Vergl. Borodin, Mémoires de l'académie impér. de St. Petersbourg, 7. Série, T. 28, No. 4.

Mit Hülfe unseres Apparates sind wir auch im Stande, die Abhängigkeit der Athmungsenergie von der Temperatur zu untersuchen, oder wir können die specifische Athmungsenergie verschiedener Pflanzentheile feststellen, d. h. ermitteln, wie viel Kohlensäure gleiche Gewichtsmengen verschiedener Pflanzentheile bei gleicher Temperatur und in derselben Zeit produciren. Zu diesem Zweck bringen wir nicht zu kleine Mengen der Untersuchungsobjecte in den Respirationskolben des in Fig. 74 dargestellten Apparates, und ermitteln die Kohlensäuremenge, welche sie im Laufe von 2—4 Stunden expiriren. Ich fand, dass die folgenden völlig entwickelten Pflanzentheile, auf eine Stunde und 100 Grm. Lebendgewicht bezogen, und bei nahezu derselben Temperatur (19,5° C.) die nachstehend angegebenen Kohlensäurequantitäten producirten.

Pflanzentheile	Kohlensäure in Grm.
Blüthen von Salvia pratensis	0,044
Blumenblätter von Rosa	0,040
Laubblätter von Calendula officinalis	0,034
Fruchtkörper von Cantharellus cibarius	0,027
Blüthentragende Stengel von Monotropa Hypopitys	0,012

Wenn man in den Respirationskolben des in Fig. 74 abgebildeten Apparats 50 Weizenkörner bringt, die im Apparat auf feuchtem Fliesspapier zur Keimung kommen können, und wenn man tagelang einen continuirlichen Luftstrom durch den zusammengestellten Respirationsapparat leitet, so ergiebt sich bei Kohlensäurebestimmungen, die man nach je 24 Stunden wiederholt, dass die in der Zeiteinheit (24 Stunden) von den Keimpflanzen expirirte Kohlensäurequantität zunächst relativ gering ist, bei fortschreitender Keimung grösser wird und endlich gegen Ende der Keimung wieder sinkt.

103. Ermittelung der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäure-Production bei der normalen Athmung.

Ich habe bereits vor längerer Zeit mit Hülfe eines Apparates, der demjenigen, welcher in Fig. 77 dargestellt ist, sehr ähnlich war, die Grösse der Sauerstoffaufnahme bei der Athmung ermittelt[1]). Die Methode hat neuerdings in mehrfacher Beziehung eine Vervollkommnung erfahren, und sie ist namentlich von Godlewski[2]) dahin verbessert worden, dass es heute ohne erhebliche Mühe möglich ist, neben der Sauerstoffinspiration der Untersuchungsobjecte, zugleich auch die Kohlensäureexpiration derselben festzustellen. Der erforderliche Apparat ist in der Figur 77 dargestellt. Er besteht aus einem Glaskolben *A*, von 400—500 Ccm. Capacität, dessen Volumen bis zu dem Striche *a* mittelst einer Burette genau ausgemessen ist. In diesen Kolben werden die Untersuchungsobjecte (Samen, Keimpflanzen oder sonstige Pflanzentheile) auf nasses Fliesspapier oder befeuchtete Baumwolle gebracht. Der Kolben wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossen. Die besten, sehr gut schliessenden Kautschukkörke, welche es giebt, sind die rothen, die man von der Firma Wallach in Cassel

1) Vergl. Detmer, Physiologisch-chem. Untersuchungen über die Keimung, 1875, S. 31.
2) Vergl. Godlewski, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 13, H. 3.

bezieht. In der einen Bohrung des Korkes steckt das Glasrohr *b*, welches am unteren Ende zugeschmolzen ist, in der anderen das Glasrohr *c*, das mit seinem langen Schenkel in Quecksilber eintaucht, über welchem eine Wasserschicht von wenigen Millimetern Höhe ausgebreitet ist.

Der lange Schenkel der Röhre *c* muss calibrirt und mit einer Millimeterscala versehen sein. An einem Häkchen an der Glasröhre *b* hängt ein kleines Gefäss (*g*) mit einer abgewogenen Menge concentrirter Kalilauge. Um einen durchaus luftdichten Verschluss des Apparates sicher und ohne Mühe zu erzielen, kann der Kautschukkork in den Hals des Kolbens hineingepresst werden, so dass der Hals noch über die Korkoberfläche hinausragt. In diesen Raum des Halses giesst man auf den Kork eine Quecksilberschicht von etwa 7 Mm. Höhe. Um das richtige Volumen der Luft festzustellen, mit der die Untersuchungsobjecte im Respirationsraum eingeschlossen sind, muss man zu dem Volumen des Kolbens *A* den Inhalt der Röhre *c* bis zum Quecksilberniveau addiren, hingegen das Volumen sämmtlicher im Apparat vorhandener Gegenstände von demselben subtrahiren. Das so corrigirte Luftvolumen wird endlich nach der schon unter 13 angegebenen Formel auf 1 M. Quecksilberdruck, 0° Temperatur und den Zustand der Trockenheit reducirt. Zu bemerken ist noch, dass die Ablesung des Quecksilberstandes im Glasrohre *c* bei Beginn des Versuchs nur dann mit Genauigkeit ausgeführt werden kann, wenn das Quecksilberniveau in dieser Röhre höher als in dem Gefässe liegt, in welches ihr langer Schenkel eintaucht. Dies ist leicht dadurch zu erreichen, dass man den Kolben *A*, bevor das Rohr *c* in das Quecksilber eingetaucht wird, mit der Hand erwärmt. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass die erforderlichen Ablesungen nicht sogleich nach der Zusammenstellung des Apparats vorgenommen werden dürfen, sondern stets erst nach Verlauf einiger Zeit (etwa 20 Minuten), damit sich die Temperaturverhältnisse gehörig ausgleichen können.

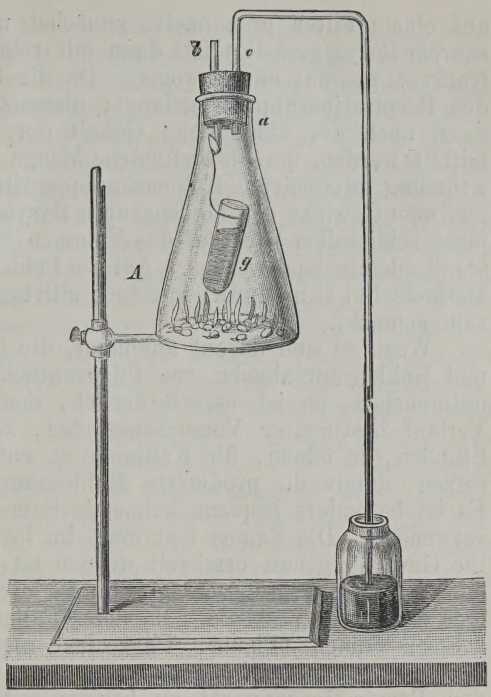


Fig. 77. Respirationsapparat.

Wenn die Pflanzen athmen und damit Sauerstoff verbrauchen, so steigt das Quecksilber im Rohr *c* empor. Die inspirirte Sauerstoffmenge kann aus der erfolgenden Volumenverminderung der Luft im Apparat berechnet werden. Die Kalilauge im Gläschen *g* absorbirt hingegen die erzeugte Kohlensäure, und um ihre Menge festzustellen, giesst man die Kalilauge in ein Kölbchen, verdünnt mit Wasser und setzt der Flüssigkeit Chlorbarium zu. Der Niederschlag von kohlensaurem Baryt wird

auf einem Filter gesammelt, zunächst mit Wasser, das mit kohlensaurem Baryt gesättigt ist, dann mit reinem Wasser ausgewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. Da die Kalilauge, die ursprünglich in den Respirationsapparat gelangt, niemals völlig kohlensäurefrei ist, so muss auch der anfängliche Gehalt der Kalilauge an Kohlensäure ermittelt werden, um die gefundene Menge bei der Berechnung der durch Athmung producirten Kohlensäurequantität in Abzug zu bringen. Die aus dem Gewicht des kohlensauren Baryts berechnete Kohlensäuremenge muss schliesslich noch auf das Volumen bei 0° C. und 1 M. Barometerstand umgerechnet werden. Auf die Fehlerquellen der hier empfohlenen Methode hat Godlewski in seiner citirten Schrift eingehender aufmerksam gemacht.

Wenn es nun darauf ankommt, die Grösse der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe von Pflanzentheilen während längerer Zeit zu untersuchen, so ist es erforderlich, den beschriebenen Apparat nach Verlauf bestimmter Versuchsperioden, z. B. nach Verlauf von je 24 Stunden, zu öffnen, die Kalilauge zu entfernen und durch neue zu ersetzen, damit die producirte Kohlensäure stets völlig absorbirt werde. Es ist besonders bequem, keimende Samen als Untersuchungsobjecte zu verwenden. Die Samen legt man im lufttrockenen Zustande, nachdem ihr Gewicht genau ermittelt worden ist, auf das feuchte Fliesspapier oder die durchnässte Baumwolle im Respirationskolben. Sie quellen hier und keimen alsbald. In vielen Fällen, zumal wenn man mit relativ grossen Samen (Pisum, Phaseolus) experimentirt, empfiehlt es sich auch, das Untersuchungsmaterial erst nach 24stündigem Quellen in den Respirationsapparat zu bringen. Bei Untersuchungen über den Athmungsprocess fettreicher Samen (Brassica, Linum, Cannabis) arbeitet man bei Benutzung eines Apparats, der die im Vorstehenden angegebenen Dimensionen besitzt, mit einer Samenmenge von 1—1,5 Grm. Gewicht. Experimentirt man mit Weizen, so kann man 2—3 Grm., und bei Versuchen mit Pisum sogar 5 Grm. Untersuchungsmaterial verwenden. Es wird sich namentlich herausstellen, dass die amylumreichen Samen eine Kohlensäuremenge bei der Keimung erzeugen, die dem Volumen nach nahezu ebenso gross wie die aufgenommene Sauerstoffquantität ist; das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ ist demnach in diesem Falle fast genau = 1. Bei der Keimung fettreicher Samen wird zumal in einem mittleren Keimungsstadium viel mehr O absorbirt, als CO_2 ausgeschieden; das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ kann z. B. bei Cannabis = 0,6 sein. Bei der Keimung fettreicher Samen werden ja aus dem sauerstoffarmen Fett Kohlehydrate, also sauerstoffreichere Verbindungen erzeugt, und dieser Umstand bedingt den gesteigerten Sauerstoffconsum.

104. Elementaranalytische Untersuchungen über den Athmungsprocess.

Für die Behandlung mancher sich auf den Athmungsprocess der Pflanzen beziehenden Fragen ist es erforderlich, den Gehalt der Untersuchungsobjecte an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff vor Beginn der Experimente und nach Abschluss derselben festzustellen. Ermittelt man z. B. den absoluten Gehalt von 100 Grm. Samen, sowie den absoluten

Gehalt der aus 100 Grm. Samen nach bestimmter Zeit hervorgegangenen Keimpflanzen an den genannten Elementen, so gewinnt man vergleichbare Zahlen, die sofort erkennen lassen, wie gross die Menge des verathmeten Kohlenstoffs, Wasserstoffs etc. ist. Besondere Bedeutung besitzen elementaranalytische Untersuchungen, wenn es sich z. B. um die Frage handelt, ob die Gesammtmasse des Kohlenstoffs, den keimende Samen verlieren, in Form von Kohlensäure abgeschieden wird, oder ob bei der Keimung auch noch andere kohlenstoffhaltige Gase (Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe) entstehen. Bei solchen Untersuchungen vergleicht man die Resultate directer Kohlensäurebestimmungen, die nach der unter 101 angegebenen Methode anzustellen sind, mit den Ergebnissen der elementaranalytischen Untersuchungen. Ergiebt sich eine gute Uebereinstimmung zwischen denjenigen Zahlen, welche durch die Respirationsversuche über den Kohlenstoffverlust bei der Keimung ermittelt werden können, und jenen, welche die elementaranalytischen Untersuchungen bezüglich des Kohlenstoffverlustes feststellen lassen, so ist der Schluss berechtigt, dass sämmtlicher Kohlenstoff die keimenden Samen in Verbindung mit Sauerstoff als Kohlensäure verlässt. Bezüglich mancher Details der Untersuchungsmethode sind die in der Anmerkung citirten Abhandlungen nachzusehen. Ich bemerke nur noch bezüglich der Elementaranalysen, deren Ausführung übrigens grosse Uebung voraussetzt, dass die Samen- und Keimpflanzensubstanz mit Rücksicht auf ihren Chlor- und Schwefelgehalt mit chromsaurem Bleioxyd gemischt verbrannt werden muss, und dass mit Rücksicht auf den Stickstoffgehalt der Untersuchungsobjecte metallisches Kupfer (Kupferdrehspäne) vorzulegen ist. Die Verbrennung selbst geschieht am besten im Sauerstoffstrom [1]).

105. Die intramolekulare Athmung der Pflanzen.

Die Erscheinung der intramolekularen Athmung tritt ein, wenn Pflanzen dem Einfluss des Sauerstoffs entzogen, also z. B. in das Vacuum oder in Wasserstoffgas gebracht werden.

Experimente im Vacuum, die ich z. B. mit Pisumkeimpflanzen nach Wortmann's [2]) Methode ausführte, stellt man in folgender Weise an. Ein starkwandiges Glasrohr von etwa 100 Ctm. Länge und 1,5 Ctm. Weite, das an einem Ende zugeschmolzen ist, wird mit gereinigtem, völlig trockenem Quecksilber gefüllt. Man reinigt das Quecksilber, indem man dasselbe in einem dünnen Strahl in eine wässerige Lösung von Eisenchlorid, die so weit verdünnt ist, dass sie die Farbe eines hellen Bieres besitzt, einfliessen lässt, diese Lösung nach einiger Zeit entfernt, wenn erforderlich durch neue ersetzt und das Quecksilber endlich mit Wasser auswäscht. Das Wasser wird dann ebenfalls beseitigt, um das Quecksilber in einem lose bedeckten Gefässe an einem warmen Orte völlig auszutrocknen. Dann lässt man das Metall langsam durch eine Papiertüte fliessen und stellt es abermals an einen warmen Ort. Das Adhäriren von Luftblasen an den Wänden des oben erwähnten

1) Vergl. Sachsse, Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum, Leipzig, 1872; Detmer, Physiologische Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen etc., Jena, 1875.

2) Vgl. Wortmann, Arbeiten d. botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2.

Rohres beim Füllen desselben vermeidet man dadurch am besten, dass man das Quecksilber mittelst eines mit ziemlich feiner Spitze endigenden Trichters durch ein dünnes Glasrohr, welches bis auf den Boden des zu füllenden Rohres reicht, laufen lässt. Nach dem Füllen des Rohres wird die Mündung desselben verschlossen und der Apparat umgekehrt in ein flaches, theilweise mit Quecksilber angefülltes Glasgefäss gestellt. Man hat jetzt also ein Barometer mit ziemlich grosser Torricelli'scher Leere vor sich. In dem Quecksilber der Barometerröhre lässt man jetzt einige von den Samenschalen befreite, mit Fliesspapier abgetrocknete Keimpflanzen, die sich in Contact mit feuchten Sägespänen entwickelt haben, und ebenso, um das Untersuchungsmaterial während der Versuchsdauer feucht zu erhalten, ein mit ausgekochtem Wasser durchtränktes Fliesspapierkügelchen aufsteigen. Bei Experimenten mit Pisum sativum oder Vicia Faba verwendet man 6—10 Keimpflanzen; experimentirt man mit Keimpflanzen von geringem Gewicht, so ist eine entsprechend grössere Zahl derselben zu benutzen. Wenn das Quecksilber in der Barometerröhre nach Einbringung der Untersuchungsobjecte zur Ruhe gekommen ist, so schreitet man sofort dazu, die Zeit, die Temperatur, den Barometerstand, sowie den Stand der Quecksilbersäule (den oberen Stand und den unteren Stand, also die Stelle, an welcher das Barometerrohr das Quecksilber in dem flachen Glasgefäss berührt) zu bestimmen. Arbeitet man mit nicht calibrirten Barometerröhren, so fixirt man den oberen sowie unteren Stand der Quecksilbersäule durch aufgeklebte Papiermarken, wiederholt dies bei jeder vorkommenden Ablesung, misst die fixirten Quecksilberhöhen und ermittelt später die ihnen entsprechenden Volumina, indem man aus einer Burette Quecksilber bis zu den die verschiedenen Volumina anzeigenden Marken fliessen lässt. Alle Volumina werden auf 0° C. und 1000 Mm. Hg reducirt.

War bei Anfang des Versuchs:
Vo das Volumen,
h die Höhe des Hg in der Barometerröhre,
t die Temperatur und
b der Barometerstand,
bezeichnet ferner,
ts die der Temperatur entsprechende Tension des Wasserdampfes auf das Quecksilber der Röhre und
a den Ausdehnungscoefficienten der Luft,
so war das reducirte Volumen:

$$V = \frac{b - (h + ts)}{1000} \cdot \frac{Vo}{(1 + a \,.\, t)}.$$

War V das Volumen bei Beginn des Versuches, V_1 das etwa nach 6 Stunden berechnete Volumen, so war mithin $V_1 - V$ das in dieser Zeit ausgeschiedene Kohlensäurequantum. Da beim Vacuum das Anfangsvolumen gleich Null war, so bezeichnet V_1 direct die ausgeschiedene Kohlensäuremenge.

Es ist vielfach erwünscht, die Grösse der intramolekularen Athmung mit der Grösse der normalen Athmung vergleichen zu können, und wenn dies geschehen soll, so wird neben dem Barometerrohr ein zweites Glasrohr von derselben Grösse wie jenes aufgestellt, nachdem man ebenfalls Keimpflanzen in dasselbe eingeführt hat, die möglichst genau das gleiche Gewicht und den nämlichen Entwickelungsgrad wie

diejenigen im Vacuum haben müssen. Um das Herabfallen der Untersuchungsobjecte zu verhindern, wird ihnen ein kleiner Kork nachgeschoben. Das Glasrohr taucht mit seinem unteren, offenen Ende in Quecksilber ein, und es werden etwa 20 Ccm. der in dem Rohre vorhandenen atmosphärischen Luft durch Heraussaugen entfernt, wodurch natürlich das Quecksilber um ebenso viel emporsteigt (vgl. Fig. 78). Um einen Theil der Luft aus dem Rohr zu entfernen, wird ein Glaskolben, welcher durch einen Kautschukkork verschlossen ist, in dessen Bohrung ein gebogenes, einen Kautschukschlauch tragendes Glasrohr steckt, erwärmt, der Schlauch mit einer Klemme verschlossen und sein Ende in das die Keimpflanzen enthaltende Glasrohr eingeführt. Der erkaltende Glaskolben dient also, wenn die Klemme geöffnet wird, als Saugapparat; es ist mit Hülfe desselben leicht, das Quecksilber in dem Glasrohr zum Steigen zu bringen. Man bedeckt nun endlich noch das Quecksilber im Glasrohr mit einer etwa 3 Mm. hohen Wasserschicht, macht die zur Bestimmung des Luftvolumens im Apparat erforderlichen Ablesungen und führt ein Stückchen Kalihydrat in das Glasrohr ein. Das Aetzkali wird von dem Wasser über dem Quecksilber schnell aufgelöst, und da die gebildete Kalilauge die bei der normalen Athmung der Keimpflanzen entstehende Kohlensäure sofort absorbirt, so kann man jeder Zeit neue Ablesungen zur Feststellung der producirten Kohlensäurequantität vornehmen.

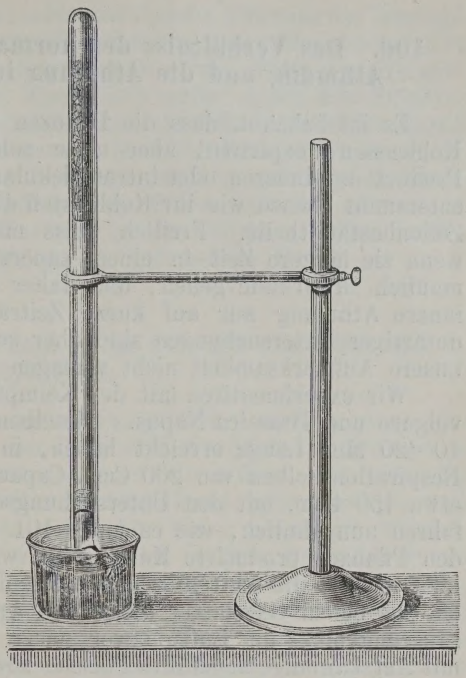


Fig. 78. Apparat zur Bestimmung der Sauerstoffmenge, welche Pflanzentheile bei der Athmung aufzunehmen vermögen.

Wenn man die Untersuchungen über die intramolekulare Athmung längere Zeit, z. B. einige Tage lang, fortsetzt, so wird man finden, dass eine gegebene Menge Keimpflanzen in der Zeiteinheit und unter sich gleich bleibenden äusseren Umständen fortschreitend weniger Kohlensäure producirt. Die Untersuchungsobjecte gerathen allmählich in einen pathologischen Zustand, und es ist wichtig, dies zu wissen, weil sich daraus ergiebt, dass man bei vergleichenden Untersuchungen über intramolekulare und normale Athmung keine zu lange Versuchsdauer (etwa nur 6—8 Stunden) innehalten darf. Derartige vergleichende Experimente lehren, dass nur wenige Pflanzen, z. B. Keimpflanzen von Vicia Faba, bei intramolekularer Athmung nahezu ebenso viel Kohlensäure wie bei normaler Athmung produciren. Die meisten Untersuchungsobjecte liefern in Contact mit Sauerstoff erheblich grössere Kohlensäurequantitäten als bei Ausschluss desselben.

106. Das Verhältniss der normalen zur intramolekularen Athmung und die Athmung in reinem Sauerstoffgas.

Es ist bekannt, dass die Pflanzen auch in Contact mit Wasserstoff Kohlensäure expiriren, aber unter solchen Umständen ist dieselbe ein Product der inneren oder intramolekularen Athmung, und ihr Sauerstoff entstammt ebenso wie ihr Kohlenstoff der organischen Substanz gewisser Zellenbestandtheile. Freilich weiss man, dass die meisten Pflanzen, wenn sie längere Zeit in einem sauerstofffreien Raume verweilen, allmählich zu Grunde gehen, und daher darf man die Experimente über innere Athmung nur auf kurze Zeiträume ausdehnen. Die Resultate derartiger Untersuchungen sind aber so lehrreich, dass wir denselben unsere Aufmerksamkeit nicht versagen dürfen.

Wir experimentiren mit den Keimpflanzen von Vicia Faba, Triticum vulgare und Brassica Napus. Dieselben werden, nachdem ihre Wurzeln 10—20 Mm. Länge erreicht haben, in beträchtlicher Menge in einen Respirationskolben von 200 Ccm. Capacität gebracht, so dass dieser zu etwa 150 Ccm. mit den Untersuchungsobjecten angefüllt ist. Wir verfahren nun ähnlich, wie es unter 101 angegeben worden ist. Die von den Pflanzen producirte Kohlensäure wird in Barytwasser aufgefangen, aber anstatt die Luft durch den Respirationsapparat zu saugen, wird sie aus einem Gasometer durch den Apparat gepresst. Zur Entkohlensäuerung muss die Luft, bevor sie zu den Keimpflanzen gelangt, eine mit Aetzkalilauge angefüllte Flasche sowie ein Glasrohr passiren, welches mit Kalilauge getränkte Bimssteinstückchen enthält. Der Wasserstoff befindet sich ebenfalls in einem Gasometer; er ist aus Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelt worden und passirt, bevor er zu den Keimpflanzen gelangt, Kalilauge sowie ein Glasrohr, welches Bimssteinstückchen enthält, die man mit einer Auflösung von übermangansaurem Kali getränkt hat. Zunächst leiten wir einen raschen Luftstrom durch den Apparat, reguliren denselben dann derartig, dass in der Stunde etwa 3 Liter Luft aus dem Gasometer ausströmen können, und schalten die Barytröhre zur Kohlensäureabsorption ein. Nach einer halben Stunde wird diese Röhre wieder entfernt, etwa eine halbe Stunde lang ein rascher Wasserstoffstrom zur Verdrängung der Luft durch den Apparat getrieben und nach vorgenommener Regulirung der Geschwindigkeit des Gasstromes eine neue Barytröhre eingeschaltet. Der Versuch dauert wieder eine halbe Stunde. Schliesslich bestimmen wir noch einmal die Kohlensäuremenge, welche die Keimpflanzen bei normaler Athmung, also in Contact mit Luft, expiriren. Natürlich ist dafür zu sorgen, dass die Untersuchungsobjecte stets constant bleibender Temperatur ausgesetzt sind [1]).

Die mehrfach wiederholten Untersuchungen werden ergeben, dass die Keimlinge von Vicia in der Zeiteinheit nahezu ebenso viel Kohlensäure bei normaler Athmung in Luft wie bei intramolekularer Athmung in Wasserstoff produciren. Die Triticum-, zumal aber die Brassicakeimpflanzen erzeugen bei innerer Athmung hingegen viel weniger Kohlensäure als bei normaler.

---

1) Ueber einen complicirteren, daher schwieriger zu construirenden Apparat zu vergleichenden Untersuchungen über die Kohlensäureproduction in Luft und Wasserstoff vgl. Pfeffer, Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, H. 4.

Will man vergleichende Untersuchungen über die Athmung der Pflanzen in Luft einer- und in reinem Sauerstoff andererseits anstellen, so verfährt man ähnlich, wie es soeben angegeben worden ist. Statt des Wasserstoffs presst man Sauerstoff aus einem Gasometer durch den Respirationsapparat. Den Sauerstoff entwickelt man in bekannter Weise durch Erhitzen einer Mischung von chlorsaurem Kali und Braunstein; er muss, bevor er zu den Keimpflanzen im Respirationskolben gelangt, Aetzkalilösung passirt haben. Keimpflanzen von Pisum sativum athmen in reinem Sauerstoff ebenso lebhaft wie in atmosphärischer Luft; andere Keimpflanzen verhalten sich nicht genau in derselben Weise [1]).

107. Das Verhalten der Pflanzen in Contact mit Stickstoffoxydulgas.

Es ist mehrfach die Behauptung aufgestellt worden, dass die Pflanzenzellen im Stande seien, den Sauerstoff des Stickstoffoxydulgases für die Zwecke der normalen Athmung zu verwerthen. Ich habe die bezüglichen Fragen einer speciellen Untersuchung unterzogen [2]), und zwar sind meine Experimente in folgender Weise angestellt worden. Ein retortenartiges Gefäss (vergl. Fig. 9) von ca. 90 Ccm. Capacität wurde mit ausgekochtem und dann wieder in einem verschlossenen Gefäss völlig abgekühltem destillirtem Wasser angefüllt, und das Wasser darauf durch Stickstoffoxydulgas verdrängt (*a*). Eine Retorte (*b*) wurde mit ausgekochtem Wasser angefüllt und N_2O eingeleitet, nachdem zuvor 20 Stück 7 Tage alte, im Dunkeln erwachsene Erbsenkeimlinge eingeführt worden waren. Eine dritte Retorte (*c*) wurde ebenso mit Wasser sowie Erbsenkeimlingen beschickt, dann aber atmosphärische Luft eingeleitet. Das Stickstoffoxydulgas stellt man dar, indem man käufliches salpetersaures Ammonium in einer Retorte erhitzt und das entweichende Stickstoffoxydulgas vor dem Auffangen zur Befreiung von etwa vorhandenen kleinen Mengen von Stickstoffoxyd und salpetriger Säure durch eine Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxydul sowie durch Kalilauge leitet. Beim Einleiten der Gase ist darauf zu achten, dass eine ganz kleine Wassermenge in der Retortenröhre zurückbleibt. Die Apparate blieben bei meinen Versuchen, nachdem sie in der angegebenen Weise beschickt worden waren, 20 Stunden lang bei etwa 20° C. ruhig stehen. Ihre Röhrenmündungen tauchten in Quecksilber ein, und die erwähnten geringen Wasserquantitäten hatten eben den Zweck, die Keimpflanzen vor den schädlichen Quecksilberdämpfen zu schützen. Nach Verlauf von 20 Stunden wurden sämmtliche Apparate, ohne dass aber Luft in dieselben eintrat, unter Wasser gebracht, welches man zweckmässig durch Eisstücke auf niederer Temperatur erhält. Es erfolgte nun allmählich eine fast völlige Absorption der in den Retorten *a* und *b* vorhandenen Gasmengen, während in der Retorte *c* ein grosses Gasvolumen zurückblieb. Das Stickstoffoxydul konnte demnach nicht von den Keimpflanzen zersetzt worden sein. Die geringen Gasmengen, welche nach der Absorption des N_2O in der Retorte *a* (bei Abwesenheit von Keimpflanzen), sowie in der Retorte *b* (bei Gegenwart von Keimpflanzen) zurückblieben, stammten offenbar aus dem als Absorptionsflüssigkeit dienenden Wasser.

1) Vgl. Johannsen, Untersuchungen aus d. botan. Instit. zu Tübingen, Bd. 1, H. 4.
2) Vgl. Detmer, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 11, S. 213.

Wir stellen ferner den folgenden Versuch an, um uns noch specieller davon zu überzeugen, dass Samen nicht im Stickstoffoxydulgas zu keimen vermögen. Zwei retortenartige Gefässe (*a* und *b*) werden mit ausgekochtem und in verschlossenen Gefässen völlig abgekühltem destillirtem Wasser angefüllt. In jedes Gefäss bringen wir noch einige angequollene Weizenkörner, tauchen die Mündungen der Apparate unter Quecksilber und verdrängen das Wasser in *a* durch Stickstoffoxydulgas, das Wasser in *b* aber durch atmosphärische Luft. Im Laufe von einigen Tagen keimen die Körner in *b*; diejenigen in *a* keimen nicht. Werden sie aber an die Luft gebracht und normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt, so entwickeln sich ihre Keimtheile nachträglich, im Falle die Untersuchungsobjecte nicht zu lange Zeit, z. B. nur 2 Tage, im Stickstoffoxydulgas verweilt haben.

108. Experimente über die Athmung, die Alkoholbildung und das Wachsthum der Hefe.

Handelt es sich darum, den Nachweis zu führen, dass bei der durch die Hefe verursachten alkoholischen Gährung Kohlensäure entwickelt wird, so füllen wir eine Flasche von etwa 500 Ccm. Capacität zu $^2/_3$ mit Pasteur'scher Lösung (vergl. über Bereitung derselben unter 17) an und versetzen dieselbe mit nicht zu wenig Hefe. Die Flasche wird mit einem Kork verschlossen, in dessen Bohrung wir den kurzen Schenkel eines zweimal im rechten Winkel gebogenen Glasrohres einführen. Wenn die Flüssigkeit nach einiger Zeit in lebhafter Gährung begriffen ist, so wird ein zweites Gefäss mit klarem Barytwasser angefüllt, mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen und in die eine Bohrung ein kurzes, an beiden Enden offenes Glasrohr gesteckt, in die andere aber der lange Schenkel des schon erwähnten rechtwinkelig gebogenen Glasrohrs eingeführt. In dem Barytwasser steigen jetzt Gasblasen auf, die alsbald eine bedeutende Trübung desselben bedingen. Bei der Gährung wird also Kohlensäure producirt. Man kann sich zur Constatirung dieser Thatsache auch der Kühne'schen Gährungsgefässe (vgl. Fig. 79) bedienen, indem man den röhrenförmigen Theil *R* des Apparats völlig mit Pasteur'scher Nährstofflösung anfüllt, was leicht durch geeignetes Neigen desselben gelingt, und dann eine nicht zu kleine Hefemenge in die gährungsfähige Flüssigkeit bringt. Die alsbald in beträchtlicher Quantität frei werdende Kohlensäure, welche sich in *R* ansammelt, treibt die Flüssigkeit in den kugelförmigen Theil *K* des Apparats. Will man sich davon überzeugen, dass das producirte Gas Kohlensäure ist, so braucht man nur ein Stück Aetzkali in die Flüssigkeit einzubringen. Das Gas wird dann völlig absorbirt. Man kann auch zum Nachweis der Kohlensäurebildung bei der Gährung derartig verfahren, dass man Pasteur'sche Lösung, nachdem sie einen Hefe-

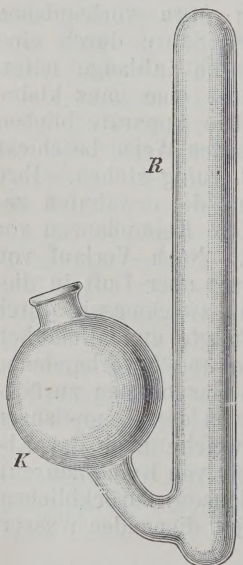


Fig. 79. Kühne'sches Gährungsgefäss.

zusatz erhalten hat, in ein langes Probirglas bringt, das über Quecksilber aufgestellt wird. Die entstehende Kohlensäure verdrängt die Flüssigkeit mehr und mehr aus dem Glase, und ihr Vorhandensein kann mit Hülfe von Kalilauge leicht constatirt werden. Um die Kalilauge in das Probirglas einzuführen, wird eine kleine Menge derselben in eine am unteren Ende umgebogenen Pipette aufgesogen, dieses Ende in die unter dem Quecksilber befindliche Mündung des Probirglases gebracht und die Pipette nun, indem man ihr oberes Ende stets mit dem Finger verschlossen hält, mit der Hand erwärmt.

Will man feststellen, dass die Hefe wirklich im Stande ist, aus dem Traubenzucker neben Kohlensäure sowie einigen anderen Stoffen Alkohol zu bilden, so wird Pasteur'sche Lösung, die man mit ziemlich viel Hefe versetzt hat, warm gestellt und nach vollendeter Gährung in einen geräumigen Kolben gebracht. Man erhitzt nun vorsichtig zum Sieden, leitet die entweichenden Dämpfe durch einen Kühler und fängt das Destillat in einer Vorlage auf. Wenn etwa $^1/_4$ der Flüssigkeit abdestillirt ist, so unterbricht man die Manipulation, neutralisirt das Destillat mit kohlensaurem Natron und destillirt abermals. In der nun übergehenden Flüssigkeit kann man die Gegenwart des Alkohols leicht nachweisen. Sie hat einen specifischen Geruch, ist verbrennlich und nimmt eine grüne Farbe an, wenn man sie mit doppelt-chromsaurem Kali und Schwefelsäure versetzt, weil die Chromsäure, indem der Alkohol sich oxydirt, eine Reduction erleidet. Am zweckmässigsten ist es, etwas doppelt-chromsaures Kali in wenig Wasser aufzulösen, Schwefelsäure hinzuzufügen und einige Tropfen dieser Mischung in die alkoholhaltige Flüssigkeit einzutragen [1]).

Dass die Hefezellen bei Luftzutritt, indem sie wachsen und sich vermehren, lebhafte alkoholische Gährung zu erregen vermögen, ist schon mehrfach von uns festgestellt worden. Pasteur'sche Nährstofflösung, die mit wenig Hefe versetzt worden ist, lässt diese Erscheinungen ja sämmtlich alsbald hervortreten. Aber die Hefezellen können im Gegensatz zu den Zellen höherer Gewächse auch bei völligem Ausschluss des freien Sauerstoffes wachsen und sich vermehren [2]). Zur Constatirung dieser Thatsache stellen wir zunächst den in Fig. 80 abgebildeten Apparat zusammen. In dem Gefäss *a* entwickeln wir aus Kalkspath (nicht aus dem porösen Marmor) und verdünnter Salzsäure Kohlensäure. Dieselbe passirt zur Reinigung das Gefäss *b*, welches eine Auflösung von doppeltkohlensaurem Natron enthält. Die Kohlensäure durchstreicht dann die beiden dreimal in rechten Winkeln gebogenen Glasröhren *R'* und *R''*, welche in der Porzellanschale *c* mittelst des kurzen Kautschukschlauches *k* mit einander verbunden sind. Das Gefäss *d* von etwa 400 Ccm. Capacität ist zu $^2/_3$ mit Pasteur'scher Nährstofflösung angefüllt, die man mit wenig wohl gewaschener Hefe versetzt hat. In der einen Bohrung des vollkommen dicht schliessenden Kautschukkorkes des Gefässes *d* steckt der eine Schenkel des Rohres *R''*, während in die andere Bohrung der kurze Schenkel des Glasrohres *R'''* eingeführt ist. Der lange Schenkel dieses Rohres taucht in das mit Quecksilber angefüllte Glas *e* ein.

1) Ueber die Methode, welche man zur quantitativen Alkoholbestimmung anwendet, vergl. E. Wolff, Anleitung zur chem. Untersuchung landwirthschaftl. wichtiger Stoffe, 1875, S. 224.

2) Die wichtigste Literatur über Alkoholgährung habe ich auf S. 173 meines Lehrbuchs der Pflanzenphysiologie citirt.

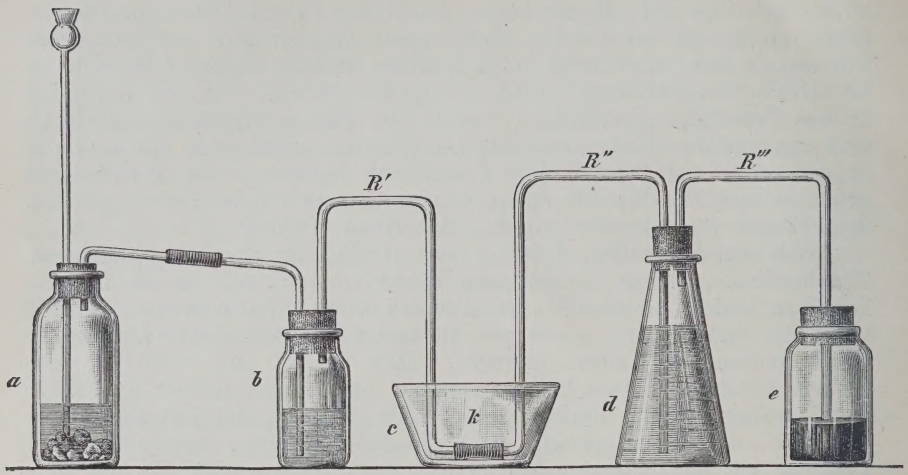


Fig. 80. Apparat zur Constatirung der Thatsache, dass es Organismen giebt, die bei völligem Sauerstoffausschluss zu wachsen vermögen.

Bei der Ausführung der Untersuchungen wird das Gefäss *d*, in dem sich die PASTEUR'sche Lösung befindet, zunächst erhitzt, während der Hals des Glases durch einen Wattepfropf verstopft ist. Man lässt erkalten, setzt der Flüssigkeit bis zur schwachen Trübung Hefe hinzu und stellt den Apparat zusammen. Sämmtliche Glasröhren müssen vor dem Gebrauch sorgfältig, am zweckmässigsten mit heissem destillirtem Wasser, gereinigt worden sein, und überdies ist es zu empfehlen, um den Sauerstoffzutritt zur PASTEUR'schen Lösung so viel wie irgend möglich auszuschliessen, noch die folgenden Vorsichtsmaassregeln in Anwendung zu bringen. Man schalte nämlich zwischen das Gefäss *b*, in dem sich die Auflösung des Natriumbicarbonats befindet, und das Glasrohr *R'* eine Flasche ein, die mit lebhaft gährender Zuckerlösung beschickt worden ist, damit die Kohlensäure von jeder Spur freien Sauerstoffes gereinigt werde. Ferner benutze man zum Verschluss des Kolbens *d* einen Kautschukkork, der sich tief in den Hals des Gefässes einschieben lässt, so dass man, um einen durchaus luftdichten Verschluss herzustellen, Quecksilber in den Hals über den Kork bringen kann. Endlich wird in die Porzellanschale *c* Quecksilber gegossen, 2 Stunden lang Kohlensäure durch den Apparat geleitet und dann die Verbindung der Röhren *R'* und R'' durch Entfernung des Kautschukschlauches aufgehoben. Lässt man das Gefäss *d*, in welches des Quecksilberverschlusses wegen sicher keine Luft eindringen kann, jetzt längere Zeit ruhig stehen (am besten bei einer Temperatur von 25—30 ° C.), so wird die Trübung der PASTEUR'schen Lösung alsbald zunehmen, und es kann sogar ein Bodensatz von neu gebildeten Hefemassen entstehen. Die Hefevermehrung ist freilich bei weitem keine so bedeutende wie bei Luftzutritt, aber unser Experiment lehrt doch, dass die Hefe im Stande ist, überhaupt bei völligem Ausschluss des freien Sauerstoffs zu wachsen und zu sprossen. Von der Natur des gebildeten Bodensatzes kann man sich durch mikroskopische Untersuchung überzeugen.

109. Die Wärmeentwickelung und die Phosphorescenz der Pflanzen.

Mit dem Athmungsprocesse der Pflanzen ist nothwendig eine Freiwerdung von Wärme verbunden. Die Eigenwärme der Gewächse kann unter Umständen eine bedeutende Höhe erreichen, und man hat z. B. gefunden, dass lebhaft athmende Gewebemassen zuweilen um mehrere Grade wärmer als ihre Umgebung sind. Insbesondere ist die Selbsterwärmung des Kolbens der Aroideenblüthenstände eine beträchtliche[1]), aber da dieses Untersuchungsobject nicht immer zur Verfügung steht, so wollen wir zur Constatirung der Thatsache, dass Pflanzen Wärme produciren, zumal keimende Samen verwenden, mit denen die Experimente zu jeder Zeit bequem ausgeführt werden können. Wir benutzen den in Fig. 81 abgebildeten Apparat. Unter einer Glasglocke steht ein Gefäss *G*, welches starke Kalilauge enthält. Auf den Trichter *T* gelangt zunächst ein kleines durchstochenes Filter, und ferner werden die Keimpflanzen, welche man bezüglich ihrer Selbsterwärmung untersuchen will, in den Trichter gebracht. Der Tubulus der Glasglocke ist mittelst eines Korkes verschlossen, durch dessen Bohrung ein Thermometer *Tm* in den Apparat eingeführt wird, so dass die keimenden Samen den Quecksilberbehälter des Thermometers vollkommen umgeben. Das Keimpflanzenmaterial gewinnt man leicht, indem man die Samen (Pisum, Triticum) nach dem Anquellen in Glasschalen auf feucht gehaltenes Fliesspapier legt, auf welchem die Keimung alsbald beginnt. Neben den mit Keimpflanzen beschickten Apparat stellt man noch einen zweiten, genau ebenso eingerichteten auf. Der Trichter wird aber nicht mit in Entwickelung begriffenen Pflanzen, sondern mit Papierkügelchen, die mit Wasser durchtränkt worden sind, angefüllt. Ich experimentirte z. B. mit 4 Tage alten Weizenkeimlingen, die auf einem Trichter von etwa 200 Ccm. Capacität zusammengehäuft waren. Das Thermometer zeigte nach Verlauf einiger Zeit 19° C., während das Thermometer des mit feuchten Papierkügelchen beschickten Apparats nur 17° C. angab. Temperaturüberschuss der Keimpflanzen also = 2° C. Bei der Benutzung des beschriebenen Apparats braucht man nicht zu befürchten, dass die Untersuchungsobjecte Sauerstoffmangel leiden, denn es ist ja kein luftdichter Verschluss hergestellt, und die producirte Kohlensäure wird von der Kalilauge absorbirt. Dagegen ist es wichtig, die Apparate einige Stunden, bevor die Temperaturablesungen (z. B. in einer Vorlesung) gemacht werden sollen, zusammenzustellen und mit Keimpflanzen, resp. Papierkügelchen zu beschicken. Ebenso ist es natürlich erforderlich, die beiden Thermometer, welche man benutzt, vor Anstellung der

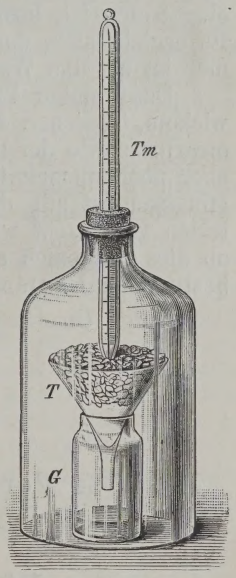


Fig. 81. Apparat zum Nachweis der Eigenwärme der Pflanzen.

1) Vgl. G. Kraus, Abhandlungen d. naturforsch. Gesellschaft zu Halle, Bd. 16. In dieser Schrift ist auch die Literatur zusammengestellt.

Experimente sorgfältig mit einander zu vergleichen. Lehrreich ist es auch, an Stelle der Keimpflanzen Blüthenknospen, z. B. von Anthemis oder Bellis, als Untersuchungsobjecte zu verwenden. Die Wärmeproduction dieser Pflanzentheile ist eine ziemlich ausgiebige.

Zur Constatirung der Thatsache, dass bei der durch Hefezellen erregten alkoholischen Gährung Wärme frei wird, verfährt man einfach in folgender Weise. Man stellt zwei Cylinder (*A* und *B*) auf. In *A* bringt man 300 Ccm. Pasteur'scher Nährlösung (vgl. über Bereitung derselben unter 17), in *B* 300 Ccm. Wasser. Beide Flüssigkeiten erhalten einen erheblichen Hefezusatz und werden sich dann bei etwa 24 ° C. selbst überlassen. Wenn im Cylinder *A* lebhafte Gährung eingetreten ist, bestimmt man den Temperaturzustand der Flüssigkeiten. Es ergiebt sich, dass die Flüssigkeit im Cylinder *A* um 1—2 ° C. wärmer ist als das Wasser im Cylinder *B*[1]).

Dass einige Pflanzen in Folge ihres Lebensprocesses Licht entwickeln, ist sicher. Namentlich hat man das Phosphoresciren von Agaricus olearius sowie der Rhizomorphen bestimmt constatiren können; ich habe aber noch niemals Gelegenheit gehabt, diese Erscheinung zu beobachten. Hingegen ist mir das Leuchten faulender Fische, welches durch Bacterien verursacht wird, aus Erfahrung bekannt, aber ich weiss nicht, ob dies Phänomen ein sehr gewöhnliches ist, oder ob dasselbe nur unter bestimmten Umständen hervortritt.

III. Das Verhalten der stickstofffreien plastischen Stoffe der Pflanzen.

110. Das Amylum als Reservestoff.

In sehr zahlreichen Reservestoffbehältern sind die stickstofffreien Substanzen in Form von Amylum abgelagert. Man kann sich von dieser Thatsache überzeugen, wenn man zarte Schnitte aus den Cotyledonen der Erbse oder Bohne, aus dem Endosperm eines Weizenkornes, aus einer Kartoffelknolle oder dem Rhizom von Canna indica in einen Wassertropfen auf den Objectträger bringt und die Schnitte mikroskopisch untersucht. Die Stärkekörner in den Zellen sind leicht als solche zu erkennen, und zum Ueberfluss kann man sie noch durch Jodzusatz blau färben. Auch in den Markstrahlen sowie im Holzkörper der Bäume und Sträucher wird die Stärke sehr allgemein während des Winters als Reservestoff aufgespeichert[2]). Ich erhielt besonders günstige Resultate, als ich Zweige von Berberis vulgaris, Fraxinus excelsior und Fagus silvatica im Januar und Februar mit Bezug auf das in Rede stehende Verhältniss untersuchte. Man stellt Quer- und Längsschnitte

---

1) Ueber Wärmebildung durch intramolekulare Athmung vgl. Eriksson in Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, H. 1.

2) Vgl. Sanio, Untersuchungen über die im Winter Stärke führenden Zellen des Holzes, Halle, 1858.

durch das Holz von Berberis vulgaris her, legt dieselben in einen auf dem Objectträger befindlichen Tropfen von Jodglycerin (dadurch bereitet, dass man Jod längere Zeit mit Glycerin in Berührung gelassen hat), bedeckt mit einem Deckglas und erwärmt den Objectträger über einer Spiritusflamme. Nach dem Erkalten zeigt sich bei mikroskopischer Untersuchung, dass zumal die Markstrahlen, aber auch Elemente des Holzes (besonders die sehr reichlich vorhandenen Libriformfasern) blau gefärbte, verkleisterte Stärkemassen enthalten. Das Holz von Fraxinus besteht aus weiten und engen Gefässen, spärlichem Holzparenchym, das sich zumal in der Umgebung der Gefässe vorfindet, und Holzfasern. Querschnitte durch das Eschenholz, die man in der angegebenen Weise mit Jodglycerin behandelt, lehren, dass namentlich die Markstrahlzellen reich an Amylum sind. Bei Fagus ist im Holz ausser den Gefässen und Holzfasern ziemlich viel Holzparenchym, das in tangentialen Binden auftritt, vorhanden. Dieses letztere, sowie die Zellen der breiten Markstrahlen, ist sehr amylumreich. Im Frühjahr verschwindet die Stärke aus den Markstrahlen und dem Holztheil der Gefässbündel. Offenbar wandert das Amylum jetzt aus den erwähnten Geweben, in denen es als Reservestoff aufgespeichert war, aus, um den wachsenden Theilen der Pflanzen zuzuströmen.

Wollen wir uns genauer über den Stärkegehalt eines Rhizoms orientiren, so wählen wir den horizontal im Boden kriechenden Wurzelstock von Pteris aquilina zur Untersuchung. Wir können Alkoholmaterial benutzen, wählen aber nicht zu dicke Rhizomstücke aus. Das Grundgewebe besteht der Hauptsache nach aus Parenchym, dessen Zellen sehr reichliche Amylummengen führen, und wird von sehr mächtig entwickelten Sklerenchymplatten durchsetzt, die schon bei makroskopischer Betrachtung eines Rhizomquerschnittes als breite, schwarze Linien hervortreten. Zwischen diesen Sklerenchymplatten sind die bicollateralen Gefässbündel leicht zu erkennen. Jedes Gefässbündel wird von einer einfachen Schicht stärkereicher Zellen (Vorscheide) und der eigentlichen, aber stärkefreien Endodermis umgeben.

Auf die Bedeutung der in Reservestoffbehältern aufgespeicherten Stärke kommen wir noch oft zurück. Es sei hier nur erwähnt, dass die Stärke das wichtigste stickstofffreie Reservematerial der Pflanzen darstellt und dass sie, wenn sie für die Entwickelung bestimmter Organe der Gewächse verwerthet werden soll, zunächst in lösliche Verbindungen übergeführt wird, welche die Reservestoffbehälter verlassen können. Unter Vermittelung diastatischer Fermente wird nämlich die Substanz der Stärke, wie wir unter 112 sehen werden, in Glycose umgewandelt, welche die Wanderung der Amylumsubstanz ermöglicht.

111. Die quantitative Amylumbestimmung.

Es sind bereits an anderer Stelle zahlreiche Angaben über die Eigenschaften sowie das Verhalten der Stärkesubstanz gemacht worden. Hier handelt es sich zumal darum, auf die Methode hinzuweisen, welche bei quantitativen Amylumbestimmungen in Anwendung zu bringen ist. Das Amylum als solches ist bekanntlich nicht im Stande, reducirend auf Fehling'sche Lösung einzuwirken; dagegen kann die Stärke durch Einwirkung von Säuren in Traubenzucker übergeführt werden, und die Menge desselben lässt sich leicht mit Hülfe der Fehling'schen Flüssig-

keit feststellen. 2—3 Grm. reiner Kartoffelstärke, die bei 100—110° C. vom Wasser befreit worden sind, werden in einem Kolben mit 200 Ccm. Wasser übergossen. Die Flüssigkeit erhält noch einen Zusatz von 20 Ccm. 25procentiger Salzsäure und wird unter Ersatz des verdunstenden Wassers 3 Stunden lang im lebhaft kochenden Wasserbade erhitzt[1]). Die erkaltete Flüssigkeit wird mit Kali neutralisirt und auf 500 Ccm. gebracht. Man erhitzt jetzt verdünnte Fehling'sche Lösung in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade, fügt 20 Ccm. der zuckerhaltigen Lösung hinzu und erhitzt noch weitere 10—15 Minuten[2]). Das gebildete Kupferoxydul wird möglichst schnell auf einem Filter gesammelt, mit heissem Wasser ausgewaschen und getrocknet. Jetzt verbrennt man das Filter, glüht das Kupferoxydul im Platintigel unter Zusatz von etwas Salpetersäure und bestimmt schliesslich das Gewicht des erhaltenen Kupferoxyds. 220,5 Theile desselben entsprechen 100 Theilen Traubenzucker oder 90 Theilen Stärke. Die erforderliche Fehling'sche Flüssigkeit wird in folgender Weise dargestellt. Man löst 34,65 Grm. reinen schwefelsauren Kupferoxyds in 200 Ccm. Wasser auf, vermischt mit einer Auflösung von 173 Grm. weinsaurem Natron-Kali in 480 Ccm. Aetznatronlauge von 1,14 spec. Gew. und verdünnt die Flüssigkeit bei 15° C. auf 1000 Ccm.

Es ist noch zu bemerken, dass die Stärke sehr kleine Mineralstoffmengen enthält. Dieselben sind zu bestimmen und in Abzug zu bringen.

112. Das Vorkommen der Diastase in den Pflanzen und die Wirkungsweise des Fermentes.

Die Diastase ist freilich sehr verbreitet im Pflanzenreich, aber die in verschiedenen Pflanzenarten vorhandenen Diastasequantitäten sind keineswegs die nämlichen. Sehr diastasereich ist die gekeimte Gerste. Wird das aus einer Brauerei bezogene Malz auf einer kleinen Handmühle zermahlen, so gewinnt man ein Pulver, das sich in hohem Grade zur Darstellung einer diastasehaltigen Lösung eignet. 25 Grm. Malzpulver übergiesst man mit 100 Ccm. Wasser, lässt die Flüssigkeit einige Zeit unter häufigem Umrühren mit dem Pulver in Berührung und filtrirt die Lösung endlich ab. Versetzt man 25 Ccm. 1procentigen Stärkekleister (hergestellt durch Vermischen von 100 Ccm. destillirten Wassers mit 1 Grm. Kartoffelstärke und Erhitzen bis zum Sieden) mit 5 Ccm. der klaren Diastaselösung, so macht sich die Amylumumbildung alsbald bemerklich. Sogleich nach Herstellung des aus Kleister und Malzextract bestehenden Gemisches nimmt eine Probe desselben auf Zusatz einer Spur alkoholischer Jodlösung eine blaue Farbe an. Nach wenigen Minuten ist die Stärke und Diastase enthaltende Flüssigkeit klar geworden, aber eine Probe derselben färbt sich auf Jodzusatz noch blau. Wartet man einige Zeit, so nimmt eine Probe der Versuchsflüssigkeit auf Jodzusatz eine violette Färbung an. Noch später färbt sich eine Probe der Versuchsflüssigkeit auf Jodzusatz braun, und schliess-

1) Früher benutzte man Schwefelsäure zur Ueberführung des Amylums in Traubenzucker. Der Gebrauch der Salzsäure ist aber vorzuziehen. Vgl. R. Sachsse, Phytochemische Untersuchungen, 1880, S. 47.

2) Zu bemerken ist noch, dass die zuckerhaltigen Flüssigkeiten, welche der heissen Fehling'schen Lösung zugesetzt werden, nicht mehr als etwa $^1/_4$—$^1/_2$ % Zucker enthalten dürfen.

lich (etwa nach 2—3 Stunden) bringt Jod keine erhebliche Färbung einer Probe der Versuchsflüssigkeit mehr hervor. Unter dem Einflusse der Diastase wird die Amylumsubstanz bekanntlich zunächst in eine Reihe nach einander entstehender Dextrinarten sowie Zucker (Maltose) gespalten. Diese Dextrine färben sich auf Jodzusatz nicht sämmtlich in der nämlichen Weise, und daher gewährt die Jodreaction ein sehr bequemes Mittel, um den Fortgang des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase genauer zu verfolgen. Die Zuckerbildung lässt sich ebenfalls leicht constatiren. Man bestimmt mit Hülfe der FEHLING'schen Lösung den Zuckergehalt von 5 Ccm. Malzextract (vgl. unter 111), versetzt 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. Malzextract und ermittelt nach einigen Stunden den Zuckergehalt der Versuchsflüssigkeit. Es ergiebt sich, dass dieselbe weit zuckerreicher ist als 5 Ccm. Malzextract.

Wird eine nicht zu kleine Menge möglichst concentrirten Malzextractes mit einem grossen Ueberschuss von absolutem Alkohol versetzt, so entsteht ein voluminöser Niederschlag. Man sammelt denselben auf einem Filter, wäscht mit Alkohol aus und trocknet den Rückstand an der Luft. Derselbe besteht aus einer Reihe verschiedener Stoffe, enthält aber auch die durch den Alkohol gefällte Diastase. Löst man eine kleine Menge der trockenen Masse in Wasser auf, so erhält man eine sehr energisch stärkeumbildend wirkende Flüssigkeit.

Von Interesse ist es, noch einige Versuche anzustellen, welche beweisen, dass nicht nur Gerstekeimpflanzen, sondern ebenso andere Keimpflanzen, Blätter und Stengel verschiedener Gewächse Diastase enthalten. Ich habe einige Tage alte Weizenkeimlinge sowie 10 Tage alte Erbsenkeimpflanzen (die Untersuchungsobjecte hatten sich im Finstern entwickelt), ferner Laubblätter von Sedum maximum und Stengel von Impatiens Balsamina im Mörser zerquetscht, mit Wasser übergossen und die Flüssigkeiten nach einiger Zeit abfiltrirt. Die gewonnenen Lösungen wirkten in Berührung mit Kleister, wie sich mit Hülfe der Jodreaction feststellen liess, stärkeumbildend. Da die Untersuchungsobjecte aber bei weitem nicht so viel Diastase wie die Gerstenkeimlinge enthalten, so ist es zweckmässig, sehr verdünnten Kleister zu benutzen und nur eine kleine Menge desselben (vielleicht 2 Ccm.) mit grösseren Quantitäten der Pflanzenauszüge (etwa 10 Ccm.) in Berührung zu bringen [1]).

Es ist mit Rücksicht auf die Wirksamkeit der Diastase in der Pflanze von Wichtigkeit, sich davon zu überzeugen, dass das Ferment nicht nur Stärkekleister, sondern auch unversehrte Stärkekörner verändern und auflösen kann. 3 Centigramm lufttrockener Weizenstärke werden in einem Uhrschälchen mit 3 Ccm. concentrirten Malzextracts oder mit 3 Ccm. einer wässerigen Lösung des durch Alkohol gefällten Ferments übergossen. Wendet man diese letztere Flüssigkeit an, so fügt man ihr eine sehr kleine Citronensäuremenge hinzu, da, wie unter 113 angegeben ist, Säuregegenwart die Wirksamkeit der Diastase wesentlich begünstigt. Das Uhrglas wird gut zugedeckt, und man beobachtet im Laufe von 24—48 Stunden wiederholt die Veränderungen, welche relativ grosse Stärkekörner erfahren, indem man Tropfen der Flüssigkeit auf den Objectträger bringt und mikroskopisch untersucht. Ich überzeugte mich davon, dass sich die einzelnen Körner individuell

1) Vgl. DETMER, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 10.

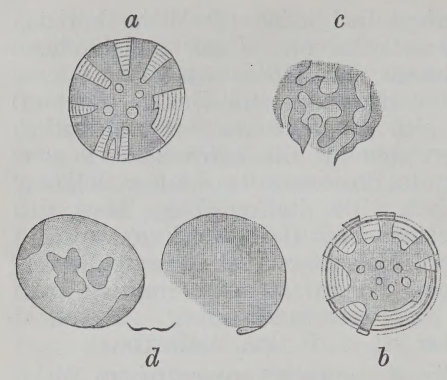


Fig. 82. Stärkekörner aus dem Endosperm des Weizenkornes in verschiedenen Stadien der Corrosion. *a* schwach, *b* stärker, *c* noch stärker, *d* am stärksten corrodirt. (Nach BARANETZKY.)

sehr verschiedenartig unter dem Einfluss der fermenthaltigen Lösung verhalten; im Allgemeinen machen sich die zu Stande kommenden Corrosionen an den Amylumkörnern in der Weise geltend, wie dies in Fig. 82 *a, b, c, d* dargestellt ist. Die Auflösung der Stärkesubstanz schreitet von aussen nach innen fort; es entstehen helle, radial gerichtete Streifen, diese werden mit zunehmender Corrosion der Körner breiter, und allmählich schreitet die Veränderung der Körner immer mehr in das Innere derselben vor [1]).

113. Der Einfluss verschiedener Substanzen sowie der Temperaturverhältnisse auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase.

In eine Anzahl kleiner Gläser bringt man je 25 Ccm. einprocentigen Stärkekleisters. Das Gefäss *a* erhält zunächst keinen weiteren Zusatz. *b* erhält einen Zusatz von einigen Tropfen Salzsäure, *c* einen Zusatz von einigen Tropfen einer concentrirten Citronensäurelösung, *d* einen Zusatz von einigen Tropfen Kalilauge, *e* einen Zusatz von einigen Tropfen Alkohol, *f* einen Zusatz von einigen Tropfen Chloroform. In jedes Glas bringt man jetzt noch 5 Ccm. Malzextract, um den Flüssigkeiten nach Verlauf von 24 Stunden eine kleine Menge alkoholischer Jodlösung mit Hülfe eines Glasstabes hinzuzufügen. Die Flüssigkeiten *a, e* und *f* färben sich nicht blau; alle übrigen nehmen auf Jodzusatz eine blaue Farbe an. Alkohol sowie Chloroform haben die Wirksamkeit der Diastase nicht aufgehoben; die Säuren und das Kali haben das Ferment dagegen unwirksam gemacht.

Mit Bezug auf den Einfluss, welchen Säuren dem diastatischen Fermente gegenüber geltend machen, ist übrigens zu betonen, dass nur grössere Säuremengen die Wirksamkeit der Diastase vernichten. Versetzt man einerseits 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. Malzextract, andererseits aber 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. Malzextract und 2—3 Milligramm Citronensäure, so erfolgt die Amylumumbildung in der letzteren Flüssigkeit schneller als in der ersteren. Kleine Citronensäuremengen (ähnlich verhalten sich kleine Mengen anderer Säuren) heben die Wirksamkeit der Diastase also nicht auf, sondern begünstigen dieselbe im Gegentheil.

Wenn man einerseits 25 Ccm. Stärkekleister von 15 oder 20° C. mit 5 Ccm. Malzextract von 15 oder 20° C. versetzt und das Gemisch bei 15 oder 20° C. stehen lässt, andererseits aber 25 Ccm. Kleister sowie 5 Ccm. Malzextract nach erfolgter Abkühlung auf 4° C. mit ein-

1) Vgl. BARANETZKY, Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, 1878, S. 48.

ander vermischt, so kann man sich mit Hülfe der Jodreaction leicht davon überzeugen, dass der Process der Stärkeumbildung durch Diastase bei höherer Temperatur weit schneller als bei niederer verläuft.

Erhitzt man Malzextract zum Sieden und vermischt die wieder erkaltete Flüssigkeit mit Kleister, so ergiebt sich, dass keine Stärkeumbildung erfolgt. Das Ferment ist durch den Einfluss der hohen Temperatur zerstört worden[1]).

114. Die Entstehung der Diastase in den Zellen höherer Pflanzen.

In zwei retortenartige Gefässe von etwa 90 Ccm. Capacität bringt man je 20 lufttrockene Weizenkörner, füllt die Gefässe mit ausgekochtem und wieder abgekühltem Wasser an, verschliesst die Mündungen der Gefässe mit dem Finger und stellt jedes derselben in der Art, wie es Figur 9 Seite 26 zeigt, in einem mit Quecksilber und Wasser gefüllten Glase auf. Nach Verlauf von 24 Stunden wird das Wasser des einen retortenartigen Gefässes durch atmosphärische Luft, dasjenige des anderen durch Wasserstoffgas verdrängt. Den Wasserstoff stellt man durch Uebergiessen von arsenfreiem Zink mit verdünnter Schwefelsäure in einem geeigneten Apparate dar und leitet das Gas zunächst durch eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, dann durch eine solche von übermangansaurem Kali, um eventuell vorhandene Spuren von Schwefelwasserstoff sowie Kohlenwasserstoffen zu beseitigen. In den Röhren der retortenartigen Gefässe muss übrigens eine kleine Wassermenge über dem Quecksilber zurückbleiben, damit die Untersuchungsobjecte nicht mit Quecksilberdämpfen in Berührung kommen. Die Weizenkörner, welche sich mit atmosphärischer Luft in Contact befinden, keimen alsbald; im Wasserstoffgas erfolgt keine Keimung. Controllversuche lehren aber, dass die Körner im Wasserstoffgas keineswegs schnell zu Grunde gehen, sondern ihre Keimfähigkeit ziemlich lange (mindestens mehrere Tage) bewahren, und ihren Embryo daher zur Entwickelung bringen, wenn sie nachträglich günstigen Keimungsbedingungen bei Luftzutritt ausgesetzt werden. Haben die Untersuchungsobjecte sich 2—3 Tage lang mit atmosphärischer Luft, resp. Wasserstoffgas in Berührung befunden, so werden sie aus den retortenartigen Gefässen herausgenommen, im Mörser zerquetscht, und der Brei mit 20 Ccm. Wasser übergossen. Nach einiger Zeit filtrirt man durch vorher nicht angefeuchtete Filter. Versetzt man nun 10 Ccm. der Filtrate mit 20 Ccm. verdünnten Stärkekleisters, so ergiebt die Jodreaction, dass der Extract aus den in den retortenartigen Gefässen bei Luftzutritt zur Entwickelung gelangten Weizenkeimpflanzen ziemlich energisch stärkeumbildend wirkt, während der Auszug aus den Untersuchungsobjecten, die sich in Contact mit Wasserstoffgas befunden hatten, eine sehr schwache stärkeumbildende Kraft geltend macht. Diese letztere ist nicht grösser wie diejenige eines Extractes, den man durch Behandlung von 20 zerquetschten ruhenden Weizenkörnern mit 20 Ccm. Wasser hergestellt hat. Der angestellte Versuch lehrt also, dass sich

1) Vgl. Detmer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Processe, Jena 1884, ferner Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 10.

in den Zellen höherer Pflanzen nur bei Zutritt des freien atmosphärischen Sauerstoffs Diastase bilden kann [1]).

115. Die Bestimmung und der mikrochemische Nachweis der Glycose.

Dextrose, Maltose etc. besitzen die Fähigkeit, unmittelbar reducirend auf FEHLING'sche Flüssigkeit einzuwirken. Diejenigen Zuckerarten, welche sich in dieser Weise verhalten, werden unter der gemeinschaftlichen Bezeichnung „Glycose" zusammengefasst. Handelt es sich z. B. darum, den Gehalt des Malzes an Glycose zu bestimmen, so wird zunächst in einer kleinen Quantität des auf einer Handmühle zermahlenen Untersuchungsmaterials der Trockensubstanzgehalt festgestellt. Ferner werden etwa 3 Grm. des Malzpulvers wiederholt mit kaltem Wasser behandelt, und die entstandenen Lösungen filtrirt. Extracte aus Samen oder Keimpflanzen, mit denen wir es hier ja auch zu thun haben, lassen sich häufig nicht ohne weiteres klar filtriren. Dies gelingt aber leicht, wenn man längere Zeit gewaschene Kohlensäure in die Flüssigkeiten einleitet. Die vereinigten Filtrate fällt man mit Bleiessig, filtrirt und bringt sie auf ein bestimmtes Volumen, z. B. 200 Ccm. In der erhaltenen Flüssigkeit bestimmt man den Zucker mit FEHLING'scher Lösung (vgl. unter 111).

Handelt es sich darum, die Gegenwart der Glycose in Geweben auf mikrochemischem Wege zu ermitteln, so stellt man zunächst Schnitte aus den Untersuchungsobjecten, z. B. aus Birnen oder Aepfeln her, die aber nicht zu dünn sein dürfen, damit nicht alle Zellen geöffnet sind. Am besten ist es, wenn die Schnitte 3 Lagen unversehrter Zellen enthalten. Die Schnitte werden in eine concentrirte Kupfersulfatlösung von gewöhnlicher Temperatur gelegt, nach kurzer Zeit mit der Pincette erfasst und oberflächlich abgespült, indem man sie in reines Wasser eintaucht. Jetzt bringt man die Schnitte sofort in siedende Kalilauge [2]) oder besser [3]) in eine siedende Lösung von 10 Grm. weinsaurem Natronkali und 10 Grm. Aetzkali in 10 Grm. Wasser. Ist Glycose vorhanden, so ist nach wenigen Secunden in denjenigen Zellen, welche dieselbe enthalten, ein schön roth gefärbter Niederschlag von Kupferoxydul entstanden. Die mikroskopische Untersuchung der Schnitte gewährt Aufschluss über die Vertheilung des Zuckers im Gewebe.

116. Das Dextrin.

100 Ccm. Wasser werden mit 1 Grm. Kartoffelstärke vermischt und zum Sieden erhitzt. Der erkaltete Kleister empfängt einen Zusatz von einigen Tropfen Schwefel- oder Salzsäure und wird dann wieder erwärmt. Die Flüssigkeit klärt sich schnell, und eine kleine Probe derselben nimmt nach dem Erkalten auf Jodzusatz noch eine blaue Farbe an. Kocht man die saure Lösung weiter, um derselben von Zeit zu Zeit (etwa alle 5 Minuten) kleine Proben zu entnehmen, die man

1) Vgl. DETMER, Botan. Zeitung, 1883, No. 37, und Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Processe, Jena 1884.

2) Vgl. SACHS, PRINGSHEIM's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 3, S. 187.

3) Vgl. ARTHUR MEYER, Berichte d. deutschen botan. Gesellschaft, Bd. 3, S. 332.

nach dem Erkalten mit Jodlösung versetzt, so zeigt sich, dass die ersten Proben auf Jodzusatz einen violetten, weitere einen rothbraunen und noch weitere einen gelblichen Farbenton annehmen. Diese Farbenreactionen lehren, dass sich unter dem Einflusse der Säure aus dem Amylum successive verschiedene Dextrinarten bilden. Zunächst zerfällt die Amylumsubstanz in das sich auf Jodzusatz violett färbende Amylodextrin I und Zucker. Das erstere spaltet sich dann durch die Säurewirkung in Zucker und Amylodextrin II, das sich durch Jod rothbraun färbt. Ferner bilden sich aus dem Amylodextrin II neben Zucker neue Dextrinarten, die sich auf Jodzusatz gelblich färben, und schliesslich verschwinden die Dextrine völlig, weil sie ihrer Gesammtmasse nach in Zucker übergeführt worden sind [1]).

Dass in den Zellen der Pflanzen Dextrinarten (und zwar solche, die sich auf Jodzusatz bräunlich färben) vorkommen, kann man auf folgende Weise feststellen. Erbsensamen werden auf einer Handmühle zu Pulver zermahlen. Das Pulver übergiesst man mit nicht zu viel Wasser und leitet nach Verlauf einer Stunde reine Kohlensäure in die trübe Flüssigkeit ein. Dann filtrirt man, und zwar wird diese Operation durch die Gegenwart der Kohlensäure in hohem Grade erleichtert. Eine kleine Menge des klaren Filtrates bringt man mit einem Jodkrystall in Berührung, und man wird finden, dass sich die Flüssigkeit nach und nach bräunlich färbt; sie verhält sich ebenso wie die wässerige Lösung des käuflichen Dextrins, wenn diese mit Jod in Contact gelangt. Reines Wasser nimmt in Berührung mit festem Jod nur einen gelblichen Farbenton an [2]). Wird das Verhalten des wässerigen Erbsensamenextractes zu Fehling'scher Lösung untersucht, so zeigt sich, dass keine Reduction erfolgt. Kocht man dagegen den wässerigen Extract nach Zusatz einiger Tropfen Schwefelsäure längere Zeit, so ist die Flüssigkeit nunmehr im Stande, energisch reducirend auf Fehling'sche Lösung einzuwirken, weil das Dextrin unter dem Einfluss der Säure in Glycose übergeführt wurde.

117. Die Bestimmung und der mikrochemische Nachweis des Rohrzuckers.

Der Rohrzucker ist ein Bestandtheil vieler Pflanzensäfte, und besonders reich an Rohrzucker ist der Saft der Zuckerrübe. Handelt es sich darum, die Menge des in den Wurzeln vorhandenen Zuckers festzustellen, so verfährt man nach E. Wolff [3]), wie folgt. Die sorgfältig gereinigten Rüben werden in Scheiben zerschnitten. 500—1000 Grm. dieser Scheiben hängt man an Fäden im Trockenschrank bei 60—70° C. auf. Die trockene Masse wird zu einem nicht zu feinen Pulver zerstossen, und nach der Gewichtsbestimmung des Pulvers in einer kleinen Quantität desselben (5—6 Grm.) der Trockensubstanzgehalt festgestellt. 2—3 Grm. des Rübenpulvers kocht man wiederholt mit 80—85procentigem Weingeist aus, filtrirt die Lösung nach jeder Auskochung ab und wäscht den Rückstand auf dem Filter schliesslich mit heissem Alkohol aus. Die gesammte Lösung versetzt man

1) Vgl. W. Nägeli, Beiträge zur näheren Kenntniss der Stärkegruppe, 1879, und Detmer, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 10, S. 752.

2) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft, 27. Jahrgang, S. 379.

3) Vgl. E. v. Wolff, Anleitung zur chem. Unters. landwirthschl. wichtiger Stoffe, 1875, S. 184.

nunmehr mit viel Wasser und erwärmt so lange auf dem Wasserbade, bis der Alkohol völlig verdampft ist. Jetzt wird die Flüssigkeit auf 300 Ccm. aufgefüllt. 100 Ccm. untersucht man sofort mit FEHLING'scher Lösung auf einen Gehalt an Traubenzucker; es muss aber bemerkt werden, dass die Menge desselben, wenn er überhaupt nicht völlig fehlt, sehr gering ist. 200 Ccm. Flüssigkeit erwärmt man nach Zusatz von 4 Tropfen Schwefelsäure 3 Stunden lang unter Ersatz des verdunstenden Wassers auf dem Wasserbade, füllt auf 400 Ccm. auf und bestimmt in 100 Ccm. nach erfolgter Neutralisation mit kohlensaurem Natron mit Hülfe der FEHLING'schen Lösung die vorhandene Traubenzuckermenge. Schliesslich ist es leicht, aus den gefundenen Werthen den Rohrzuckergehalt der frischen Rüben oder der Rübentrockensubstanz zu berechnen. Ueber Darstellung und Anwendung der FEHLING'schen Lösung ist schon früher (vergl. unter 111) das Erforderliche mitgetheilt worden.

Nach dem Gesagten ist es ohne weiteres klar, in welcher Weise man zu verfahren hat, wenn es sich nur darum handelt, qualitativ die Gegenwart des Rohrzuckers in Rüben nachzuweisen.

Kommt es darauf an, das Vorhandensein des Rohrzuckers in den Rüben auf mikrochemischem Wege nachzuweisen, so werden Schnitte, die nicht zu dünn ausfallen dürfen, damit nicht sämmtliche Zellen geöffnet sind, in eine aus schwefelsaurem Kupferoxyd und weinsaurem Natron-Kali bereitete kalte Kupferlösung eingelegt, mit Wasser abgespült und ganz kurze Zeit in heisse Kalilauge eingetaucht. Bei mikroskopischer Betrachtung der Schnitte zeigt sich, dass der Inhalt ihrer Zellen eine schön blaue Färbung angenommen hat, was die Gegenwart von Rohrzucker anzeigt[1]).

118. Die Cellulose als Reservestoff.

Es giebt einige Samen, in denen die Cellulose als stickstofffreier Reservestoff auftritt. Ein Dattelkern wird quer durchchnitten, um nun mit Hülfe eines sehr scharfen Rasirmessers einen zarten Querschnitt aus dem Endosperm herzustellen. Die Wände der gestreckten Zellen sind ausserordentlich stark verdickt, aber es sind viele einfache Tüpfel vorhanden. Wir imprägniren einen Schnitt aus dem Endosperm des Dattelkerns mit Jodjodkaliumlösung und lassen darauf vom Deckglasrande aus verdünnte Schwefelsäure, die durch Vermischen von 2 Volumthl. Schwefelsäure mit 1 Volumtheil Wasser hergestellt worden ist, zutreten. Die Verdickungsschichten der Zellwände färben sich schön blau. Werden Schnitte aus dem Endosperm in der früher (unter 39 Seite 66) angegebenen Weise mit Phloroglucinlösung und dann mit Salzsäure behandelt, so tritt keine Rothfärbung der Objecte ein. Die Verdickungsschichten der Endospermzellen sind also nicht verholzt; sie bestehen aus Cellulose. Bei der Keimung des Dattelsamens wird diese Cellulose verbraucht.

119. Das Inulin.

Das Inulin ist besonders reichlich in den unterirdischen Organen vieler Compositen vorhanden. Es tritt als gelöster Körper im Zellsaft auf und hat die Functionen eines stickstofffreien Reservestoffes. Wird

1) Vgl. SACHS, PRINGSHEIM's Jahrbücher, B. 3, S. 183.

etwas Inulin mit kaltem Wasser übergossen, so zeigt sich, dass sich die Substanz sehr schwer in demselben auflöst. Erwärmt man, so löst sich das Inulin dagegen völlig auf. Das Inulin ist nicht im Stande, reducirend auf FEHLING'sche Lösung einzuwirken. Versetzt man aber heisse FEHLING'sche Flüssigkeit mit einer bei höherer Temperatur bereiteten Inulinlösung, so tritt die Abscheidung kleiner Mengen Kupferoxyduls ein, weil schon heisses Wasser im Stande ist, geringe Quantitäten des Inulins in Glycose umzuwandeln. Wird wässerige Inulinlösung nach Zusatz einiger Tropfen Schwefelsäure gekocht, so bildet sich viel Glycose, und die Flüssigkeit wirkt nunmehr sehr energisch reducirend auf FEHLING'sche Lösung ein.

Eine heisse Inulinlösung zeigt beim Erkalten die merkwürdige Erscheinung, dass sich das Inulin nicht sofort, sondern erst nach Verlauf längerer Zeit wieder abscheidet. Fügt man aber zu einer eben erkalteten Inulinlösung einen grossen Ueberschuss von Alkohol hinzu, so erfolgt die Abscheidung des Inulins schnell. Die Unlöslichkeit des Inulins in Alkohol wird nun bei der mikrochemischen Nachweisung desselben in Pflanzentheilen verwerthet. Nicht zu dünne Schnitte aus dem Mark der Georginenknolle (Dahlia variabilis) werden auf dem Objectträger mit Alkohol bedeckt und nach einiger Zeit in Wasser eingetaucht. Bei mikroskopischer Untersuchung der in Wasser liegenden Schnitte zeigt sich, dass sich das Inulin in Sphärokrystallen abgeschieden hat. Besonders schön ausgebildete Sphärokrystalle lassen sich beobachten, wenn man grössere Stücke der Georginenknollen mindestens 8—14 Tage lang in Spiritus liegen lässt, aus dem Alkoholmaterial die Schnitte herstellt und dieselben in Wasser untersucht. Die Sphärokrystalle sitzen den Zellwänden an; sie stellen kugelige Gebilde von charakteristischem Aussehen dar[1]) (vgl. Fig. 83).

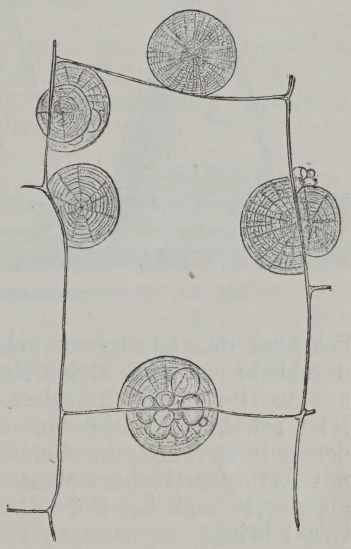


Fig. 83. Zelle aus einem Stück einer Knolle von Dahlia variabilis, welches mehrere Monate lang in Alkohol gelegen hatte. Sphärokrystalle an den Wänden. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

120. Die Pflanzenfette und die quantitative Bestimmung derselben.

Wenn man getrocknete und zerkleinerte Pflanzenmassen mit Aether extrahirt, so erhält man eine Lösung, die beim Eindunsten einen wesentlich aus Fett bestehenden Rückstand liefert. Gewöhnlich ist die Menge der dem Fett beigemengten anderweitigen Stoffe so gering, dass

1) Vergl. SACHS, Botanische Zeitung, 1864, S. 25, und PRANTL, Das Inulin, München, 1870.

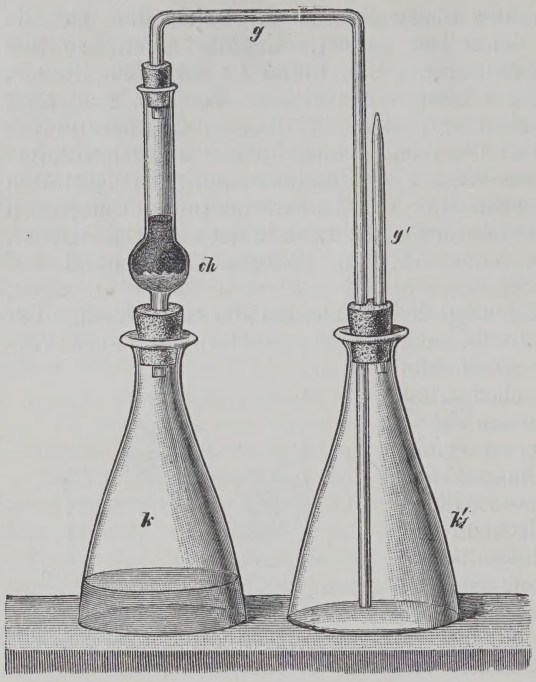


Fig. 84. Fettbestimmungsapparat.

man bei der quantitativen Bestimmung des Fettgehaltes von Pflanzentheilen meist keine Rücksicht auf diese Verunreinigungen zu nehmen braucht. Bei Fettbestimmungen benutzt man zweckmässig den in Fig. 84 dargestellten Apparat[1]).

In eine kleine Kochflasche *k* bringt man Aether, setzt auf das Fläschchen einen durchbohrten Kork und führt das eine Ende eines Chlorcalciumrohres *ch* in die Bohrung ein. Der weitere und nach oben gerichtete Theil des Rohres wird mit Hülfe eines durchbohrten Korkes verschlossen, und in die Bohrung der kürzere Schenkel eines zweimal im rechten Winkel gebogenen Glasrohres *g* gesteckt. Der längere Schenkel des Glasrohres geht durch die eine Oeffnung eines doppelt durchbohrten, eine kleine Kochflasche *k'* verschliessenden Korkes, bis auf den Boden des Kölbchens, während in die zweite Bohrung des zuletzt erwähnten Korkes das Glasrohr *g'* gesteckt ist. Wenn man nun den unteren Theil des Chlorcalciumrohres mit etwas durch Extraction mit Aether gereinigter Watte lose verstopft und auf die Watte das fein gepulverte und bei 103 ° C. getrocknete Untersuchungsmaterial (2—5 Grm.) bringt, so hat man alle erforderlichen Vorbereitungen zur Fettbestimmung getroffen. Taucht man das Kölbchen *k* in warmes Wasser, so bildet sich Aetherdampf, der sich theils im Chlorcalciumrohr, theils aber erst im Kölbchen *k'* wieder verdichtet. Bei der Abkühlung des Apparates fliesst aller Aether in das Kölbchen *k* zurück und hat der Pflanzensubstanz bereits eine gewisse Fettmenge entzogen. Das Erwärmen des Aethers wird mehrfach wiederholt, und schliesslich enthält die Flüssigkeit in *k* die gesammte Fettmenge des Untersuchungsmaterials. Man filtrirt die Lösung nöthigenfalls, verdunstet den Aether vorsichtig, um den Rückstand im Kölbchen *k* endlich bei 103 ° C. zu trocknen und zu wägen.

Die Fette bestehen aus Gemischen von freien Fettsäuren und Glyceriden. Um das Glycerin in diesen letzteren überhaupt nachzuweisen, verfuhr ich in folgender Weise. Etwa 75 Ccm. Olivenöl wurden längere Zeit in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade mit verdünnter Kalilauge digerirt. Nach dem Erkalten wurde der Flüssigkeit viel schwefel-

1) Vgl. Detmer in Wollny's Forschungen auf d. Gebiete der Agriculturphysik, Bd. 2, H. 1.

saures Natron hinzugefügt, die abgeschiedene Seife abfiltrirt, und das Filtrat mit Schwefelsäure neutralisirt. Dann wurde die Flüssigkeit eingedunstet, der Rückstand mit Alkohol behandelt, die Lösung von den schwefelsauren Salzen abfiltrirt, eingedunstet und der Rückstand zur Reinigung abermals mit Alkohol behandelt, um die Lösung nach erfolgter Filtration wieder einzudunsten. Es bleibt eine syrupartige Flüssigkeit von süsslichem Geschmack, eben das Glycerin, zurück. Wird dieser Rückstand in Wasser aufgelöst und ein Theil der Flüssigkeit mit einer verdünnten Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd vermischt, in der man durch Zusatz von Kalilauge eine Abscheidung von Kupferoxydhydrat hervorgebracht hat, so wird dieser letztere Körper aufgelöst. (Glycerinreaction).

121. Die Reactionen der fetten Oele.

Wir bringen eine kleine Menge irgend eines fetten Oeles mit Hülfe eines Glasstabes auf den Objectträger, fügen eine Mischung von Alkohol und Aether hinzu, damit sich das Fett auflöse, bedecken mit dem Deckglase und beobachten unter dem Mikroskop. Wenn der Alkohol und der Aether verdunstet sind, so sehen wir grosse sowie kleine Tropfen in unserem Präparat, die Fettmassen darstellen. Sie erscheinen, auf den optischen Durchschnitt eingestellt, hellgrau und sind von einem schmalen, schwarzen Ring umgrenzt. Wird der Tubus gesenkt, so erscheint jeder Oeltropfen nicht mehr von einem schwarzen, sondern von einem hellen Ringe umsäumt. Die Oeltropfen können nicht wohl mit Luftblasen verwechselt werden, denn hat man diese letzteren im Mikroskop eingestellt und senkt den Tubus, so wird ihre Randpartie nicht hell, sondern der schon bestehende dunkle Rand nimmt im Gegentheil noch an Breite zu.

In den Zellen des Endosperms von Ricinus oder in denjenigen der Cotyledonen von Brassica sind neben den Eiweissstoffen reichliche Fettmengen vorhanden, und um diese nachzuweisen, brauchen wir nur dünne Schnitte aus den erwähnten Samen auf dem Objectträger mit einer Mischung von Alkohol und Aether zu behandeln. Die sich alsbald abscheidenden Fetttropfen sind leicht als solche zu erkennen.

Auch die Alkannatinctur (ein tief gefärbter Auszug aus der Alkannawurzel, der durch Behandlung derselben mit 70—80procentigem Alkohol hergestellt worden ist) kann zum Nachweis der Fette dienen, obgleich diese Reaction, wenigstens nach meinen Erfahrungen, keine besonders scharfe ist. Untersucht man z. B. Schnitte aus dem Endosperm von Ricinus, dessen Zellen ein Fett enthalten, das im Gegensatz zu anderen Fetten löslich in Alkohol ist, so versetzt man die Alkannatinctur mit dem gleichen Volumen Glycerin, schwenkt die Schnitte in der Mischung einige Male hin und her, spült sie oberflächlich mit Alkohol ab und legt sie in Glycerin. Die Aleuronkörner erscheinen gar nicht oder schwach gefärbt, während die Grundmasse in Folge ihres Fettgehaltes tief roth tingirt ist.

Ein weiteres Reagens auf fette Oele ist die Ueberosmiumsäure in wässeriger 1procentiger Lösung. Legt man Schnitte aus dem Endosperm von Ricinus in diese Lösung, so nehmen dieselben nach einiger Zeit eine dunkle Farbe an, weil die Ueberosmiumsäure das vorhandene Fett schwärzt.

122. Das Verhalten des Fettes bei der Keimung der Samen.

Sehr zahlreiche Samen (Ricinus, Helianthus, Cucurbita, Brassica etc.) enthalten Fett als stickstofffreien Reservestoff. Dieses Fett ist dem Amylum stärkereicher Samen physiologisch gleichwerthig. Es liefert das Athmungsmaterial und ebenso das Material zur Bildung der Zellhäute. Das Fett geht aber, bevor es in den Zellen des sich entwickelnden Embryo Verwendung findet, zunächst in Stärke oder Zucker über, und es ist daher von besonderem Interesse, die Bildung dieser Oxydationsproducte des Fettes bei der Keimung fettreicher Samen sicher festzustellen.

Wir wählen als Untersuchungsobject die Samen von Ricinus communis. In einer centralen Höhlung des mächtig ausgebildeten Endosperms liegt der Embryo, der aus den beiden dünnen Cotyledonen und der Keimachse besteht. Die grossen Zellen des Endosperms enthalten, wie wir schon bei anderer Gelegenheit feststellten, eine fett- und eiweissreiche Grundmasse, in der die Aleuronkörner liegen. Stärke ist in den Endospermzellen und ebenso in denjenigen des Embryo, wie man mit Hülfe von Jodreagentien leicht feststellen kann, nicht vorhanden.

Einige Samen von Ricinus werden in Gartenerde, die sich in einem Blumentopfe befindet, bei Lichtabschluss und bei nicht zu niederer Temperatur (etwa 20° C.) zur Keimung gebracht. Wenn sich die Hauptwurzel und ebenso das hypocotyle Glied beträchtlich gestreckt haben, der obere Theil des letzteren Organs aber noch gekrümmt erscheint, weil die Cotyledonen noch im Endosperm stecken, so enthalten die Zellen dieses Gewebes ebenso wie vor der Keimung keine Stärke, sondern nur Eiweiss und Fett. Die Cotyledonen haben die Aufgabe, die Reservestoffe des Endosperms aufzusaugen, damit diese von der jungen Keimpflanze verwerthet werden können. In den Zellen des Parenchyms der Cotyledonen ist viel Fett vorhanden; Amylum, das dem Keimblattgewebe vor Beginn der Keimung, wie erwähnt, völlig fehlte, findet sich in denjenigen Parenchymzellen reichlich, welche den Mittelnerven nach aussen umgeben. Die Cambiumzellen der Gefässbündel führen nur Eiweissstoffe. Auch die Cambiumzellen des hypocotylen Gliedes enthalten nur Eiweissstoffe. Das Parenchym der Rinde und des Markes des oberen noch nicht völlig gestreckten Theiles des hypocotylen Gliedes ist, wie sich in bekannter Weise leicht feststellen lässt, sehr stärke- sowie zuckerreich, während die Menge dieser Körper im unteren gestreckten Theile des hypocotylen Gliedes mehr und mehr abnimmt. In dem fertig gestreckten Theile des hypocotylen Gliedes fehlen Zucker und Stärke im Parenchym; nur in den Zellen der den Gefässbündelring umgebenden Stärkescheide sind Amylumkörner nachzuweisen. Im Gewebe der Hauptwurzel ist weder Stärke noch Fett zu finden, dagegen führt das Parenchym der sich lebhaft streckenden Nebenwurzeln viel Zucker.

Schreitet die Keimung weiter fort, so verschwindet das Fett immer mehr und mehr aus dem Endosperm des Ricinussamen, weil es für die Zwecke des Wachsthums der Keimpflanze Verwendung findet. Das hypocotyle Glied streckt sich gerade, und die Holz- sowie Basttheile der Gefässbündel desselben erfahren eine weitere Ausbildung. In dem Maasse, in welchem die Streckung des oberen Theiles des hypocotylen Gliedes zu Stande kommt, verschwinden auch die aus dem Fett ent-

standenen Stärke- und Zuckermengen aus den Zellen des Parenchyms; nur in den Zellen der die Fibrovasalstränge umgebenden Stärkescheide sind noch Amylumkörner nachzuweisen.

Die Function der Stärkescheide wird weiter unten genauer behandelt werden; hier genügt es, auf ihre Existenz hinzuweisen. Sie tritt als geschlossene Scheide auf, welche den Gefässbündelkreis umgiebt, und ist, wie Fig. 85 zeigt, im Hypocotyl von Ricinus schön entwickelt. Im Uebrigen vergl. man die Figurenerklärung.

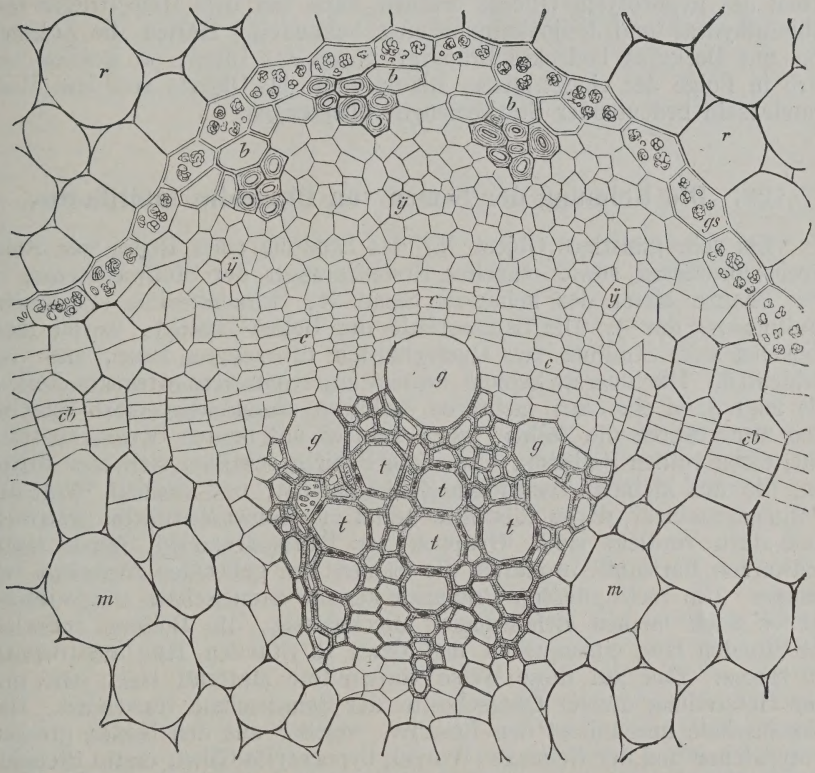


Fig. 85. Theil eines Querschnittes aus dem fertig gestreckten hypocotylen Glied von Ricinus communis. Der Längsschnitt ist in Fig. 26 dargestellt. *r* Parenchym der primären Rinde, *m* des Markes. Zwischen *r* und *b* die einfache Gefässbündelscheide mit Stärkekörnern (Stärkescheide). Der Fibrovasalstrang besteht aus dem Phloëm *b*, *y*, dem Xylem *t*, *g* und dem Cambium *c c*. Das Cambium des Stranges *c c* setzt sich auch in das zwischen den benachbarten Strängen liegenden Grundgewebe fort, als Interfascicularcambium *cb*. Im Phloëm sind *b b* Bastfasern, *y y* der Weichbast, z. Th. Parenchym, z. Th. Siebröhren; im Xylem sind *t t* enge getüpfelte, *g g* weite getüpfelte Gefässe, dazwischen Holzfasern. (Nach Sachs.)

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Ausbildung der Organe des Ricinusembryo von der Wurzel durch das hypocotyle Glied zu den Cotyledonen allmählich aufwärts steigt. Bei beginnender Streckung und innerer Entwickelung der Organe tritt reichliche Stärke in den Zellen des Parenchyms auf. Wenn die Streckung schnell fortschreitet, so ist im Parenchym auch viel Zucker vorhanden. Aber die erwähnten

Kohlehydrate verschwinden wieder mit vollendeter Streckung und Ausbildung der Organe aus dem Parenchym; sie sind eben zur Bildung von Zellstoff verbraucht worden [1]).

Es ist angeführt worden, dass im Rinden- und Markgewebe des oberen Theiles des hypocotylen Gliedes von Ricinus, wenn dasselbe noch gekrümmt ist und die Cotyledonen noch im Endosperm stecken, reichliche Stärkemengen vorhanden sind. Diese Amylummenge ist, wie ich feststellte, eine so grosse, dass es möglich ist, ihre Gegenwart in einer Vorlesung makroskopisch zu demonstriren. Schnitte aus dem oberen Theil des hypocotylen Gliedes werden dazu auf dem Objectträger mit Chloralhydrat und Jodjodkaliumlösung behandelt. Halten die Zuhörer das mit Deckglas bedeckte Präparat gegen das Licht, so können sie sich in Folge der eingetretenen Blaufärbung des Objects von dem Vorhandensein bedeutender Stärkemengen überzeugen.

123. Die Keimung der Samen von Phaseolus multiflorus.

Ein sehr günstiges Object für das Studium einer Reihe von Stoffwechselprocessen sowie mancher Erscheinungen der Stoffwanderung in der Pflanze bietet der keimende Same der Schminkbohne (Phaseolus multiflorus) dar [2]). Die Samenschale der Bohne besteht, wovon man sich bei dem Studium von Querschnitten überzeugen kann, aus vier Schichten. Die innerste Schicht besteht aus zusammengedrückten Zellen. Es folgt dann eine aus mehreren Zelllagen zusammengesetzte Schicht, und zwar führen die Zellen, wenn man es mit bunten Samen zu thun hat, einen rothen Farbstoff. An diese Schicht schliesst sich eine dritte an, die aus kleinen, rundlichen Zellen besteht, und endlich folgt die Palissadenschicht, deren Elemente radial zur Samenoberfläche gestreckt und stark verdickt sind. Gruppen von Palissadenzellen führen einen schwarzen Farbstoff, wodurch die Samen ihr geflecktes Aussehen erlangen. Um recht günstige Präparate aus der Samenschale zu gewinnen, ist es nach meinen Erfahrungen zweckmässig, die Bohnen zunächst 24 Stunden lang einzuquellen und dann 12 Stunden lang austrocknen zu lassen. Das auf diese Weise vorbereitete Material lässt sich gut zur Herstellung dünner Querschnitte der Samenschale verwenden. Die Samenschale umschliesst den Embryo, welcher aus den beiden grossen Cotyledonen und der Keimaxe (Wurzel, hypocotyles Glied, erstes Stengelglied, Terminalknospe) mit den beiden Primordialblättern zusammengesetzt ist. Man überzeugt sich leicht davon, dass die Cotyledonen, da ihre nach innen gerichteten Flächen concav sind, einen Hohlraum zwischen sich lassen, und dass die Axe des Embryo knieförmig gebogen ist. Die Cotyledonen bestehen aus der Epidermis, dem mächtig entwickelten Parenchym und den dieses durchziehenden Gefässbündeln. Die Epidermiszellen führen keine Stärke, dagegen sind die Elemente des Parenchyms sehr stärkereich. Ueberdies führen sie Eiweissstoffe, wovon man sich bei der Behandlung von Schnitten aus den Cotyledonen mit Jod oder Fehling'scher Lösung überzeugen kann. Die Zellen der

1) Vgl. Sachs, Botanische Zeitung, 1859, S. 177, vgl. ferner Detmer, Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses der Samen, 1880, S. 316.

2) Vgl. Sachs, Sitzungsberichte der Akadem. d. Wiss. zu Wien, 1859, Bd. 37, S. 57, und Detmer, Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses der Samen, 1880, S. 308.

Gefässbündel sind amylumfrei; sie führen aber Eiweissstoffe. Feine Querschnitte durch die Keimaxe lehren, dass diese aus der Epidermis, dem Rinden- sowie Markparenchym und der dazwischen liegenden Gefässbündelregion zusammengesetzt ist. Die Primordialblätter besitzen einen Stiel sowie eine Lamina. Wird ein Blatt auf dem Objectträger im Wassertropfen ausgebreitet, mit Deckglas bedeckt und mikroskopischer Betrachtung unterzogen, so kann man sich von dem Vorhandensein der Nerven in der Lamina überzeugen. Alle Zellen des Parenchyms dieser letzteren sind stärkefrei, führen aber Eiweissstoffe.

Werden Bohnensamen in feuchte Erde eingelegt, so beginnt die Keimung alsbald. Die junge Pflanze wächst auf Kosten der in den Cotyledonen vorhandenen Reservestoffe. Man achte besonders bei der Betrachtung der sich entwickelnden Keimpflanzen auf das zuerst erfolgende Hervorbrechen der Wurzel aus der Samenschale, auf das Hervortreten des an seiner Spitze gekrümmten Stengels, auf die Entstehung der Nebenwurzeln, die Bildung der Wurzelhaare sowie der Haare am Stengel, welche am ruhenden Keim noch fehlen, auf das Wachsthum der Primordialblätter und die Differenzen, welche sich bei der Keimung im Dunkeln einer- und bei Lichtzutritt andererseits herausstellen etc.

Mit Bezug auf das Verhalten des plastischen Materials bei der Keimung ist namentlich das Folgende zu bemerken. Hat die Wurzel eine Länge von 2—3 Ctm. erreicht, so finden sich in der Rinde und dem Mark der Wurzelspitze sowie des hypocotylen Gliedes viele kleine Stärkekörner, während die Zellen der Axe des Embryo vor Beginn der Keimung gewöhnlich nur wenig Amylum führten. Glycose ist, wie man bei Behandlung von Schnitten mit Kupferlösung und Kali constatiren kann, in den Rinden- und Markzellen der Axe vorhanden, während sich Eiweissstoffe zumal in der Gefässbündelregion vorfinden. Indem sich bei dem Fortgang der Keimung die Wurzel verlängert und das erste Stengelglied bedeutend streckt, verschwindet das Amylum aus den fertig gestreckten Zellen der Rinde sowie des Markes. So z. B. sind die Zellen der Rinde und des Markes an der Basis des Stengels alsbald amylumfrei, während Rinde und Mark der höheren Theile des Stengels noch Stärke führen. Endlich verschwindet diese aber auch. Ebenso verschwindet das Amylum in dem Maasse aus den Primordialblättern, in welchem sich diese ausbilden. Ist die Streckung des ersten Stengelgliedes vollendet, so sind Rinde und Mark desselben völlig stärkefrei. Nur die bei der Bohne sehr schön entwickelte Stärkescheide, welche aus einer Zellenlage besteht und den Gefässbündelkreis umgiebt, führt noch reichlich Amylumkörner. Die Mark- und Rindenzellen, welche ihre Stärke verloren haben, führen jetzt Zucker, der aber auch mehr und mehr verschwindet, wenn die Keimung ihrem Ende naht. Eiweissstoffe sind besonders reichlich, wie sich mit Hülfe von Kupferlösung und Kali feststellen lässt, im Siebtheil der Gefässbündel vorhanden. Wenn sich die Primordialblätter völlig entfaltet haben, so kann das Keimungsstadium der Bohnenpflanze als abgeschlossen betrachtet werden. Die Cotyledonen sind fast völlig frei von Reservestoffen. Schnitte, die man mit Kupferlösung und Kali behandelt, färben sich nicht mehr violett, da kein Eiweiss vorhanden ist, sondern hellblau. Der Amylumgehalt der Cotyledonen ist nur noch ein geringer.

Die Auflösung der Stärkekörner in den Keimblättern beginnt sofort, wenn das Leben im Keim angeregt wird, und zwar sind es die der Axe zunächst liegenden Zellen der Cotyledonen, in denen die Stärke-

körner zuerst angegriffen werden. Wenn das erste Stengelglied der Bohnenkeimpflanzen in lebhafter Streckung begriffen ist, so sind bereits reichliche Mengen corrodirter Amylumkörner, freilich neben noch unversehrten, in den Zellen der Cotyledonen vorhanden, und fernerhin greift der Process der Amylumauflösung, der, was Beachtung verdient, nicht von aussen in das Innere des Kornes, sondern in umgekehrter Richtung fortschreitet, immer weiter um sich.

124. Die Keimung von Triticum vulgare.

Handelt es sich darum, die Natur der ruhenden Weizenfrucht genauer kennen zu lernen, so ist nicht das trockene Korn, sondern es sind bis zu einem gewissen Grade in Wasser aufgeweichte Körner zur Herstellung der erforderlichen Schnitte zu benutzen. Die Frucht besteht aus der Frucht- und Samenschale, die wir bereits an anderer Stelle besprachen, dem Endosperm und dem Embryo. Wir stellen zunächst Querschnitte durch ein Korn her und constatiren, dass die äusserste Schicht des Endosperms eine einfache Lage fast quadratischer Zellen darstellt, deren Membranen stark verdickt sind, und die körnige Massen als Inhaltsstoffe führen. Stärkekörner sind in diesen Zellen nicht vorhanden; sie führen aber, wie sich leicht mit Hülfe von Jod oder schwefelsaurem Kupferoxyd und Kali ermitteln lässt, reichliche Eiweissmengen. Die Hauptmasse des Endosperms zeigt sich aus rundlichen Zellen zusammengesetzt, die Stärkekörner von verschiedener Grösse sowie Eiweissstoffe enthalten. Letzteres ist bei Behandlung von Schnitten mit schwefelsaurem Kupferoxyd und Kali festzustellen. Der Embryo liegt dem Endosperm seitlich an. Für das Studium des Keims sind mediane Längsschnitte durch das Weizenkorn anzufertigen, und die Betrachtung derselben zunächst bei schwacher, dann bei stärkerer Vergrösserung, führt uns ein complicirtes Bild vor das Auge. (Vergl. Fig. 59 S. 130). Zunächst ist auf denjenigen Theil des Embryos hinzuweisen, der direct an das Endosperm angrenzt. Es ist das Schildchen (Scutellum), welches unsere besondere Aufmerksamkeit erfordert. Dasselbe besteht seiner Hauptmasse nach aus kleinen, rundlichen Zellen; nur die an das Endosperm anschliessende Zellschicht des Schildchens ist, wie man namentlich bei Behandlung der Schnitte mit Kalilauge deutlich sieht, von anderer Beschaffenheit. Die Zellen dieses Epithels des Scutellums sind nämlich von gestreckter, cylindrischer Form. Am oberen Theil des Keims erkennen wir weiter die geschlossene Cotyledonarscheide, die jungen Laubblattanlagen und den Vegetationskegel. Die Wurzel des Weizenembryos ist von einer Wurzelscheide (Coleorhiza) umschlossen, und zwar ist die Grenze zwischen jener und dieser scharf durch eine helle Linie markirt. Amylum oder Glycose sind weder in den Zellen des Schildchens noch in denjenigen der übrigen Theile des Keims vorhanden. Dagegen führen die sämmtlichen Zellen des Embryo reichliche Eiweissquantitäten. Zu bemerken ist noch, dass auch das Endosperm des ruhenden Weizenkornes keinen Zucker enthält.

Werden angequollene Weizenkörner auf in Wasser liegende Bimssteinplatten gebracht, so beginnt die Keimung alsbald, indem die Organe des Embryo auf Kosten der ihnen aus dem Endosperm zukommenden plastischen Stoffe wachsen. Die Radicula tritt hervor, und die ersten Seitenwurzeln, welche sich fortan lebhafter als jene entwickeln, kommen

zum Vorschein. Ebenso erfahren die Blattanlagen schnell eine bedeutende Streckung, sie bleiben aber noch zunächst von der lebhaft wachsenden Cotyledonarscheide umschlossen. (Vgl. Fig. 86.) Der Stengel entwickelt sich erst später. Das Keimpflanzenmaterial muss nun von Zeit zu Zeit untersucht werden, wenn es sich darum handelt, Aufschluss über die Stoffwechselprocesse bei der Keimung zu erlangen. Bald nach Beginn der Keimung treten im Endosperm bedeutende Glycosemengen auf, wie mit Hülfe von schwefelsaurem Kupferoxyd und Kali leicht festzustellen ist. Das Schildchen, welches bei der Keimung im Weizenkorn stecken bleibt, vermittelt den Uebertritt des gesammten plastischen Materials aus dem Endosperm in den Keim, aber es ist wichtig, dass die Zellen des Scutellums niemals Zucker führen.

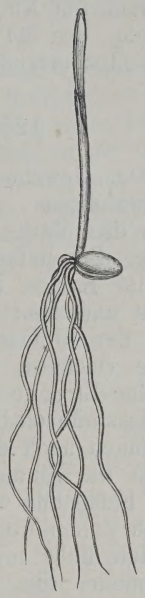


Fig. 86. Keimpflanze von Triticum vulgare.

Das Cylinderepithel dient dem Schildchen als Saugorgan, und wenngleich in den Epithelzellen niemals die Gegenwart von Amylum oder Glycose nachzuweisen ist, so enthalten die übrigen Zellen des Schildchens doch alsbald nach Beginn der Keimung transitorische Stärke. Die Gegenwart dieses Körpers ist namentlich bei Behandlung von Schnitten mit Kali, Essigsäure und verdünnter Jodlösung in den Zellen des Scutellums leicht festzustellen. Uebrigens ist hier zu bemerken, dass die gekeimten Weizenkörner, um für die Untersuchung brauchbare Schnitte herzustellen, etwas ausgetrocknet werden müssen. Eiweissstoffe werden der sich entwickelnden Keimpflanze ebenso wie stickstofffreie Körper unter Vermittelung des Schildchens aus dem Endosperm zugeführt. Haben sich die Weizenkeimlinge z. B. 5 Tage lang bei gewöhnlicher Zimmertemperatur entwickelt, so ist es namentlich leicht, die Gegenwart grösserer Eiweissmengen mit Hülfe von schwefelsaurem Kupferoxyd und Kali in den jüngeren Theilen der Wurzeln sowie in den einander diametral gegenüberstehenden Gefässbündeln der Cotyledonarscheide nachzuweisen. Diese letztere wächst jetzt noch sehr lebhaft und ist dem entsprechend auch reich an plastischem, aus dem Endosperm stammenden Material. Im Parenchym der Cotyledonarscheide sind zahlreiche Stärkekörner leicht zu erkennen, deren Menge sich in dem Maasse vermindert, in welchem das Wachsthum der Scheide mit fortschreitender Keimung allmählich erlischt. Auch die Zellen der wachsenden Blätter führen Amylumkörner. Das Vorhandensein von Zucker habe ich zu keiner Zeit in irgend einem Theil des Weizenembryos nachweisen können (die von mir untersuchten Keimpflanzen entwickelten sich im Dunkeln); es ist nur im Endosperm des keimenden Weizens Glycose zugegen. Uebrigens ist es gar nicht ausgeschlossen, dass unter bestimmten Umständen Glycose auch im Embryo der Weizenkeimpflanze auftritt. Die Zellen des Endosperms werden natürlich mit fortschreitender Entwickelung der Keimpflanze immer ärmer an Reservestoffen (Eiweissstoffen sowie Amylum), und wenn man kleine Mengen des ziemlich erschöpften Endospermgewebes im Wassertropfen auf dem Objectträger

vertheilt, so lassen sich bei möglichst starker Vergrösserung neben noch unversehrten Amylumkörnern andere erkennen, die in Folge der Einwirkung des bei der Keimung des Weizens entstehenden diastatischen Fermentes corrodirt und gleichsam zerfressen erscheinen[1]).

125. Die Keimung der Kartoffelknollen.

Das Gewebe der Kartoffelknollen besteht fast ausschliesslich aus dünnwandigem, stärkeführendem Parenchym. Es ist nämlich nicht allein das Mark- sowie das Rindengewebe der Hauptsache nach von solcher Beschaffenheit, sondern ebenso fast das gesammte Gewebe der im Kreise angeordneten Gefässbündel besitzt parenchymatische Natur und führt Stärkekörner von verschiedener Grösse. Im Holztheil der Gefässbündel sind nur einzelne Gruppen verholzter Elemente (Gefässe und Holzfasern) vorhanden, während im Basttheil einzelne Stränge vorkommen, deren Zellen kein Amylum, wohl aber Eiweissstoffe enthalten. Das Rindenparenchym der Kartoffelknolle wird von innen nach der Schale zu kleinzelliger und stärkeärmer. Dagegen führen die Rindenzellen dicht unter der Schale häufig im Zellsaft gelöste Farbstoffe etc. Die Schale der Knollen besteht aus Korkgewebe, dessen Zellen tafelförmige Beschaffenheit besitzen.

Ich habe mich oft davon überzeugt, dass die Keimung solcher Kartoffeln, die man im Herbst in einen mit einem nicht luftdicht schliessenden Deckel versehenen Kasten legt, lange auf sich warten lässt. Die Knollen machen unter gewöhnlichen Umständen eine Ruheperiode vor der Keimung durch. Diese letztere beginnt erst etwa zu Neujahr, indem einzelne Knospen gewisser Augen (zumal solcher, welche in der Nähe des dem Nabelende entgegengesetzten Theiles der Knolle stehen) sich langsam durch Wachsthum vergrössern. Wir lassen die Knollen nun ruhig bei Lichtabschluss und ohne ihnen Wasser zuzuführen liegen. Anfang März sind bereits manche Triebe der Knollen einige Centimeter lang geworden und es sind schuppenartige Blättchen an denselben sichtbar. Auf Querschnitten durch den Stengeltheil der Triebe ist es leicht, die Epidermis, das Parenchym der Rinde sowie des Markes, und den Gefässbündelkreis zu erkennen. Sucht man die Stoffvertheilung in den Trieben von verschiedenen Entwickelungszuständen mit Hülfe der bekannten mikrochemischen Methoden festzustellen, so ergiebt sich zumal das Folgende. Das Parenchym sehr junger Triebe enthält viel Stärke. Wenn die Zellen des Parenchyms sich mit zunehmendem Alter lebhaft strecken, so sind sie zumal glycosereich. Eiweissstoffe sind im Weichbast der Gefässbündel auf der Wanderung begriffen. Das Cambium, die Stengelvegetationspunkte und die in den Internodien entstehenden Anlagen der Nebenwurzeln, welche, wie ich oft constatirte, bei solchen Trieben, die sich in Contact mit trockener Luft entwickeln, die Epidermis nicht durchbrechen, enthalten nur Eiweissstoffe, wie es denn überhaupt eine allgemeine Erfahrung ist, dass in denjenigen Geweben, deren Zellen sich in sehr lebhafter Theilung befinden, Kohlehydrate in Folge des ausserordentlich schnellen Verbrauchs derselben nicht nachgewiesen werden können. Auf Details gehe ich hier nicht näher ein; sie sind übrigens leicht festzustellen[2]).

1) Vergl. Sachs, botan. Zeitung, 1862.
2) Vgl. H. De Vries: Landwirthschl. Jahrbücher, B. 7, S. 217.

126. Der Einfluss der Temperaturverhältnisse auf den Zuckergehalt der Kartoffelknollen.

Die Untersuchung der Kartoffelknollen auf ihren Zuckergehalt bietet hohes Interesse dar, da derartige Prüfungen Resultate liefern, die für die Beurtheilung einer ganzen Reihe physiologischer Fragen von Interesse sind. Die Untersuchung selbst führt man in der Weise aus, dass man die Knollen auf dem Reibeisen oder mittelst einer breiten Feile (Raspel) zu einem feinen Brei zerreibt, denselben auf ausgekochte Leinwand bringt und auspresst. Man spült das Reibeisen oder die Feile, sowie die Hände mit Wasser ab, mischt das Spülwasser mit dem Pressrückstand, presst abermals aus und wiederholt diese Operationen noch zwei Mal. Die gewonnenen Flüssigkeitsmengen werden in einen Kolben von $^1/_2$ Liter Capacität gebracht. Man füllt bis zur Marke auf, versetzt eine gewisse Flüssigkeitsmenge zur Fällung von Eiweiss etc. mit etwas Bleiessig, filtrirt und ermittelt im Filtrat mit Hülfe der Fehling'schen Lösung den Zuckergehalt. Eben gereifte Kartoffeln enthalten Zucker. Werden ungekeimte Knollen untersucht, die längere Zeit (einige Wochen) im warmen Zimmer bei 15—20° C verweilt haben, so zeigt sich, dass diese Knollen zuckerfrei sind. Werden derartige zuckerfreie Kartoffeln etwa 14 Tage lang in einem Raum (z. B. in einem Keller) aufbewahrt, in welchem die Temperatur nicht unter 0° sinkt, aber auch nicht über 2—3° C steigt, so sind sie süss geworden und enthalten viel Zucker. Besonders zweckmässig ist es, die Knollen bei Abkühlungsversuchen in einen in einem Keller aufgestellten Thermostaten zu bringen, der aus einem doppeltwandigen Zinkblechgefäss hergestellt ist. Der Zwischenraum zwischen den Wänden wird mit Eis angefüllt, und zum Verschliessen des Apparates benutzt man keinen gewöhnlichen Deckel, sondern ein mit Eis angefülltes Blechgefäss. Die Knollen sind also im Thermostaten einer constanten Temperatur von 0° C. ausgesetzt. Werden Kartoffeln, die keinen oder nur wenig Zucker enthalten, in ein Glasgefäss gebracht, dieses in eine Kältemischung (Schnee oder Eis und Kochsalz) gestellt und auf diese Weise bewirkt, dass die Knollen schnell gefrieren und klingend hart werden, so ergiebt die Untersuchung der in gefrorenem Zustande zerriebenen und mit Wasser extrahirten Knollen keine Veränderung in ihrem Zuckergehalte. Die hier erwähnten Thatsachen sind zuerst von Müller-Thurgau constatirt worden [1]). Einige bezügliche Angaben finden sich auch in einer kürzlich von mir publicirten Abhandlung [2]). Müller-Thurgau hat nachgewiesen, dass das Verhältniss zwischen den Processen der Zuckerbildung und der Athmung in den Kartoffelknollen bei verschiedenen Wärmegraden ein sehr verschiedenes ist, und dass es bei der Erklärung der festgestellten Erscheinungen, wenn auch nicht ausschliesslich, so doch in erster Linie darauf ankommt, diesen Gesichtspunkt nicht aus dem Auge zu verlieren. Bei höherer Temperatur (etwa 15—20° C.) verläuft die Athmung relativ energisch, so dass der Zucker in dem Maasse, wie er sich bildet, verbraucht wird und sich nicht in den Knollen anhäufen kann. Bei niederer Temperatur (z. B.

1) Vgl. Müller-Thurgau: Landwirthschl. Jahrbücher, Bd. 11, S. 751.
2) Vgl. Detmer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Processe, 1884, S. 41.

0—3° C.) wird mehr Zucker aus der vorhandenen Stärke gebildet, als die unter diesen Umständen schwache Athmung zu verbrauchen im Stande ist. Daher tritt bei niederen Wärmegraden Zuckeransammlung in den Knollen ein. Das Gefrieren der Kartoffelknollen selbst ist ohne Einfluss auf den Zuckergehalt derselben.

127. Das Reifen der Früchte und Samen.

Wird ein dünner Querschnitt aus dem reifen Samen von Brassica Napus untersucht, so zeigt sich, dass die Samenschale aus einer Reihe verschiedener Schichten besteht. Von aussen nach innen folgt zunächst auf eine aus zusammengedrückten Zellen bestehende, farblose Schicht eine andere, die aus braun gefärbten Zellen, deren Lumina ziemlich deutlich sind, zusammengesetzt ist. Daran schliesst sich eine aus zusammengedrückten, braunen Zellen bestehende Schicht. Es folgt eine vierte Schicht, deren Zellen stark verdickt sind und deutliche Lumina erkennen lassen, während die fünfte Schicht ebenso wie die erste keine zellige Structur mehr zeigt. Die zweite und dritte Schicht der Samenschale bedingen die braune Färbung des Samens. In den Zellen der gefalteten Cotyledonen sind reichliche Eiweiss- und Fettmengen vorhanden. Stärke fehlt dem reifen Samen vollkommen. Die sich entwickelnden noch unreifen Samen enthalten aber viel Amylum. Dasselbe strömt ihnen aus den Assimilationsorganen der Rapspflanze zu und wird schliesslich vollkommen zur Fettbildung im Samen verbraucht. Wir stellen Querschnitte aus einer grünen Schote von Brassica Napus (ich untersuchte z. B. am 20. Mai 6—8 Ctm. lange Schoten) her. Zwischen den beiden Fruchtblättern sieht man bei der Untersuchung die falsche Scheidewand. Das Fruchtgewebe selbst besteht aus einer stark cuticularisirten Epidermis, grünem und farblosem Grundgewebe, sowie einer Anzahl Gefässbündel. Die jungen Samen sitzen an den verwachsenen Rändern der Fruchtblätter. Behandelt man Querschnitte mit Chloralhydrat- und Jodjodkaliumlösung, so zeigt sich, dass Frucht- und Samengewebe viel Stärke enthalten.

Das Hypanthium der reifen Birnen ist bekanntlich sehr zuckerreich. Da nun die Frucht selbst nur wenig Chlorophyll enthält, so muss ihr auf jeden Fall das meiste Material, dessen sie zu ihrer Ausbildung und zur Erzeugung des in dem Hypanthiumgewebe abgelagerten Zuckers bedarf, zugeführt werden. Der Fruchtstiel vermittelt die Zuleitung des plastischen Materials; gewisse Gewebe desselben enthalten in der That z. B. reichliche Amylumquantitäten. Stellt man Querschnitte aus dem Fruchtstiel der Birne her (ich untersuchte dieselben z. B. am 8. Juni), so lässt sich der Gefässbündelkreis zwischen der Rinde und dem Mark sofort selbst bei schwacher Vergrösserung erkennen. Der Basttheil der Gefässbündel besitzt nach aussen zu einen starken Beleg von Bastfasern. An diese letzteren grenzt unmittelbar eine Zellenschicht (die Stärkescheide), in deren Elementen man reichliche Amylummengen beobachtet, und diese Stärkemassen sind offenbar als plastisches Material anzusehen. Im Parenchym des Hypanthiums der Birnen fand ich am 8. Juni wenig Stärke, nur einzelne Zellen enthielten dieselbe, offenbar ein Beweis dafür, dass das Amylum sehr schnell verbraucht wird. In einem noch früheren Entwickelungsstadium der Birne (am 2. Mai) konnte ich selbst durch Behandlung dünner Schnitte des Hypan-

thiums mit Chloralhydrat und Jodjodkaliumlösung keine Stärke in den Zellen nachweisen.

Wenn man von einer Phaseolusblüthe die Blumen- sowie Kelchblätter entfernt und den noch übrigen Theil der Blüthe zur Herstellung von Querschnitten benutzt, so erblickt man bei der Untersuchung den monomeren Fruchtknoten, umgeben von der geschlitzten Staubfadenröhre. Bei Phaseolus und vielen anderen Papilionaceen sind ja von den 10 Staubgefässen nur 9 mit einander verwachsen; ein Staubgefäss ist frei. Der Fruchtknoten trägt die Ovula an seiner Bauchnaht. Nach Sachs [1]) ist bei dem Reifen der Früchte und Samen von Phaseolus (Ph. vulgaris) namentlich das Folgende zu constatiren.

Sogleich nach dem Abblühen findet sich sowohl in den Zellen der äusseren grünen als auch in denjenigen der inneren farblosen Schicht des Fruchtknotens keine Stärke. Nur in unmittelbarer Nähe der Gefässbündel an der Bauch- und Rückennaht ist wenig Amylum vorhanden. Der Embryosack enthält keine Stärke (wohl in Folge starken Verbrauchs derselben). Amylum ist aber in der Umgebung des Embryosackes und im Parenchym des Funiculus vorhanden. Hat die Frucht eine Länge von 3 Ctm. erreicht, so enthält die äussere grüne Schicht des Fruchtknotens Stärke, die innere farblose aber keine, dagegen viel Zucker. Im Funiculus und in nächster Umgebung des Embryosackes ist Stärke vorhanden. Der noch sehr kleine Embryo ist stärkefrei. Schreitet die Frucht- und Samenentwickelung weiter fort, so ist immer noch viel Stärke (aber kein Zucker) in dem Parenchym des als Zuleitungsorgan dienenden Funiculus zu finden, und auch in den Cotyledonen des sich ausbildenden Embryos häuft sich allmählich viel Amylum an.

Es sind mir Fälle vorgekommen, in denen weder im Embryosack noch im Gewebe des Knospenkernes und Funiculus (wohl in Folge sehr lebhaften Wachsthums der Zellen) Stärke oder Zucker nachzuweisen waren. Ich untersuchte am 4. Mai Blüthen von Tulipa sylvestris und fand in den Zellen der anatropen Samenknospen, die der dreifächerige Fruchtknoten in grosser Zahl beherbergt, nur reichliche Eiweissmengen, aber weder Stärke noch Glycose.

128. Die Gewinnung des für quantitative chemische Untersuchungen über Stoffwechselprocesse erforderlichen Materials.

Eine der wichtigsten, aber zugleich auch schwierigsten und mühevollsten Aufgaben bei quantitativ-chemischen Untersuchungen über Stoffwechselprocesse im Organismus der Pflanzen, besteht in der Gewinnung des geeigneten Materials. Am zweckmässigsten ist es, Keimpflanzen bei derartigen Beobachtungen, z. B. bei dem Studium über das Verhalten der Stärke oder der Fette, zu benutzen. Zunächst sucht man sich Samenmaterial von gleichförmiger Ausbildung der einzelnen Individuen sowie hoher Keimfähigkeit zu verschaffen, bestimmt den Trockensubstanzgehalt desselben, indem man zur Erlangung eines Mittelwerthes mehrere Proben des durch Zermahlen der Samen auf einer Handmühle hergestellten Samenpulvers bei 102 ° C. trocknet und berechnet alle Ergebnisse der Samenuntersuchung auf Samentrockensubstanz.

1) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschl. Botanik, Bd. 3, S. 231.

Die zur Gewinnung der Keimpflanzen zu benutzenden Samen müssen genau gewogen werden; ihr Trockensubstanzgewicht lässt sich somit leicht berechnen. Das Einquellen der Samen, die Cultur der Keimpflanzen und die Ermittelung des Trockensubstanzgewichts dieser letzteren werden in derselben Weise ausgeführt, wie dies bei der experimentellen Behandlung der Frage nach der Verwerthbarkeit des freien atmosphärischen Stickstoffs für die Pflanzen geschehen ist (vgl. unter 18). Die Keimpflanzen müssen sich aber natürlich bei völligem Lichtabschluss, z. B. in einem Schrank, entwickeln und brauchen nicht unter Glasglocken zur Ausbildung zu gelangen.

Die hauptsächlichste Schwierigkeit bei den Untersuchungen besteht darin, gleichförmig ausgebildetes Keimpflanzenmaterial zu gewinnen. Legt man eine Anzahl Samen zum Keimen aus, so kommt es sehr oft vor, dass manche Keimpflanzen sich kräftig, andere schwächlich entwickeln, oder dass einige Samen gar nicht keimen und faulen. Beim Experimentiren mit manchen Samen (z. B. Weizen oder Erbsen) erhält man übrigens bei einer Anzahl von Culturen solche, die durchaus befriedigend ausfallen, bei denen also alle benutzten Samen nahezu gleichförmig ausgebildete Keimpflanzen geliefert haben, und das ist ja der denkbar günstigste Fall. Experimentirt man mit kleinen Samen (Raps, Mohn), die man am besten nach dem Anquellen auf in Wasser liegenden Bimssteinplatten, auf feuchtem Filtrirpapier oder feuchter Glaswolle zur Keimung bringt, so ist es zweckmässig, die Samen zu zählen, das mittlere Gewicht eines Samens zu berechnen, die nicht gekeimten Samen zu zählen und ihr ursprüngliches Gewicht von dem anfänglichen Gewicht der benutzten Samenquantität in Abzug zu bringen. Wenn nicht zu viele Samen schlecht oder gar nicht keimen, so bringt dies Verfahren keine allzu grossen Fehler mit sich. Bei Versuchen mit grossen Samen (Bohnenarten) ist es zweckmässig, jedes einzelne Untersuchungsobject individuell zu behandeln. Jeder einzelne Same wird für sich gewogen, nach dem Quellen auf feuchter Glaswolle angekeimt und dann jede einzelne Keimpflanze in einem besonderen Glase, welches destillirtes Wasser enthält, zur weiteren Entwickelung gebracht, in ähnlicher Weise, wie dies bei der Handhabung der Methode der Wassercultur geschieht (vgl. unter 1). Auf mancherlei kleine Vorsichtsmaassregeln, die aber dennoch von Wichtigkeit sind, um brauchbares Keimpflanzenmaterial zu gewinnen, wird man bei der Ausführung der Arbeiten leicht selbst aufmerksam werden.

Handelt es sich um ein vergleichendes Studium der Abhängigkeit der Stoffwechselprocesse von den Temperaturverhältnissen, so müssen die Samen natürlich in Thermostaten (vgl. unter 76) bei verschiedenen Wärmegraden zur Keimung gebracht werden.

129. Quantitativ-chemische Untersuchungen über das Verhalten der Fette und Kohlehydrate beim pflanzlichen Stoffwechsel.

Das Studium derjenigen Vorgänge, die sich bei der Keimung der Samen geltend machen, ist sehr geeignet, uns Aufschluss über das Verhalten der Fette und Kohlehydrate beim Stoffwechsel zu geben. Wir suchen zunächst die procentische Zusammensetzung der Samen und diejenige der Keimungsproducte, welche in der unter 128 angegebenen Weise gewonnen worden sind, zu ermitteln und rechnen dann, um ver-

gleichbare Zahlen zu gewinnen, die Ergebnisse dieser Untersuchungen auf 100 Grm. Samentrockensubstanz und auf die aus 100 Grm. Samentrockensubstanz hervorgegangene Menge Keimpflanzentrockensubstanz um. Hatten 100 Grm. Samensubstanz z. B. 90 Grm. Keimpflanzensubstanz ergeben, so müssen die für die procentische Zusammensetzung der Keimpflanzen gefundenen Werthe auf 90 Grm. umgerechnet werden. Die Analyse der Samen sowie Keimpflanzen wird in folgender Weise ausgeführt.

Etwa 3 Grm. Samen- oder Keimpflanzentrockensubstanz werden in der unter 120 angegebenen Weise mit Aether zur Fettbestimmung extrahirt. Den Rückstand von der Fettbestimmung digerirt man wiederholt einige Zeit mit Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur, filtrirt und füllt das Filtrat auf 200 Ccm. auf. Je 50 Ccm. dienen zur Zuckerbestimmung (vgl. unter 115), je 50 Ccm., nachdem man die Flüssigkeit mit etwas Schwefelsäure gekocht hat, zur Dextrinbestimmung (vgl. unter 116).

Den mit Wasser erschöpften Rückstand oder besser etwa 3 Grm. neuer Samen- resp. Keimpflanzensubstanz (nur bei sehr fettreichen Samen oder Keimpflanzen muss das Fett zunächst entfernt werden) übergiesst man in einem 500 Ccm. fassenden Kolben mit 200 Ccm. Wasser, kocht längere Zeit bis zur völligen Verkleisterung der Stärke und digerirt die Flüssigkeit noch etwa 2 Stunden lang bei 70° C., nachdem man ihr einige Tropfen Salzsäure zugefügt hat. Man füllt nach dem Erkalten bis auf 500 Ccm. auf, lässt ruhig stehen und filtrirt 200 Ccm. durch ein nicht befeuchtetes Filter klar ab. Das Filtrat vermischt man mit 15 Ccm. 25procentiger Salzsäure, kocht 3 Stunden lang unter Ersatz des verdunstenden Wassers und füllt nach dem Erkalten wieder bis auf 200 Ccm. auf. In je 50 Ccm. Flüssigkeit ermittelt man mit Hülfe der Fehling'schen Lösung den Zucker, dessen Menge dann auf Stärke umgerechnet wird (vgl. unter 111).

Den Rückstand von der Behandlung mit Salzsäure kocht man eine halbe Stunde lang mit 200 Ccm. 1procentiger Kalilauge aus, filtrirt und kocht die auf dem Filter gesammelte Masse eine halbe Stunde lang mit 200 Ccm. Wasser. Der nun noch bleibende Rückstand wird auf einem gewogenen Filter gesammelt, mit Alkohol und Aether ausgewaschen, getrocknet und gewogen. Von der Menge der erhaltenen Rohfaser ist die in ihr vorhandene und zu bestimmende Quantität Asche sowie die Menge an Eiweissstoffen in Abzug zu bringen.

Besondere Proben der Samen- und Keimpflanzensubstanz dienen zur Ermittelung des Aschengehaltes derselben. Ebenso ist die Quantität der in den Samen sowie den Keimpflanzen vorhandenen Eiweissstoffe, eventuell auch die Menge des vorhandenen Asparagins etc. festzustellen.

Bei der Berechnung der procentischen Zusammensetzung der Samen und Keimpflanzen auf Grund der Resultate der angeführten Untersuchungen bleibt stets ein nicht unerheblicher Rest. Die Menge der „unbestimmten Stoffe" muss aber mit aufgeführt werden.

Ueber die Bedeutung quantitativ-chemischer Untersuchungen beim Studium des Stoffwechsels habe ich mich an anderer Stelle eingehend ausgesprochen[1]). Hier sei nur erwähnt, dass man sich mit Hülfe der

---

1) Vgl. Detmer, Vergl. Physiologie d. Keimungsprocesses der Samen, 1880.

quantitativ-chemischen Methode z. B. darüber Klarheit verschaffen kann, in welchem Verhältniss die beim Stoffwechsel verschwindende Stärkemenge zu der Menge der verschwindenden Trockensubstanz steht, wie viel Zucker unter bestimmten Umständen entsteht, wie gross die Menge des Amylumquantums ist, das bei der Keimung fettreicher Samen zurückbleibt, wenn eine gewisse Fettmenge verschwunden ist, etc. etc. Alle diese Fragen haben ein hohes wissenschaftliches Interesse [1]).

IV. Die Nebenproducte des pflanzlichen Stoffwechsels.

130. Die organischen Säuren der Pflanzen.

Die organischen Säuren in den Pflanzen sind nicht als Assimilationsproducte anzusehen, sondern sie entstehen, wie unter 131 noch specieller gezeigt werden soll, meistens durch Oxydationsprocesse aus Kohlehydraten. Entweder sind die in den Pflanzen vorkommenden organischen Säuren (Oxal-, Citronen-, Apfelsäure etc.) in freier Form in den Zellsäften vorhanden, oder sie treten in Verbindung mit Basen in sauren resp. neutralen, leicht löslichen oder sehr schwer löslichen Salzen in den Zellen auf. Die Säfte des Parenchyms enthalten ganz allgemein mehr oder minder bedeutende Quantitäten freier organischer Säuren oder saurer Salze derselben, und man kann sich sehr leicht von dieser Thatsache überzeugen, wenn man die frische Schnittfläche irgend eines beliebigen Pflanzentheiles mit blauem Lackmuspapier in Contact bringt. Die eintretende Röthung des Papiers zeigt die Gegenwart der Säure an. In zahlreichen Fällen lässt sich der saure Charakter der Pflanzensäfte schon durch den Geschmackssinn wahrnehmen.

Den freien Säuren sowie ihren sauren Salzen kommen mannigfaltige Functionen in den Zellen zu, die wir zum Theil schon erwähnten. Die Säuren erhöhen die Turgorkraft des Zellinhaltes ganz wesentlich, sie beschleunigen den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase, sie dienen manchen Pflanzen wohl auch als Schutzmittel gegen den Angriff schädlicher Thiere, sie zersetzen die aus dem Boden mit Hülfe der Wurzeln aufgenommenen Nitrate, ein Vorgang, der für die Eiweissbildung von grosser Wichtigkeit ist, sie binden den seitens der Pflanzen im Uebermaass aufgenommenen Kalk und sie zersetzen die Chloride im vegetabilischen Organismus unter Freimachung von Salzsäure.

Eine sehr grosse Verbreitung besitzt die Oxalsäure im Pflanzenreich. Sie kommt im freien Zustande und in sauren Salzen, die im Zellsaft löslich sind, zudem aber ungemein häufig in Verbindung mit Kalk vor. Die Krystalle des oxalsauren Kalkes trifft man in besonderen Zellen an, und wir haben schon einmal auf ihr Vorkommen hingewiesen (vgl. unter 22). Hier mögen fernere Beispiele Erwähnung finden.

1) Vgl. am soeben angegebenen Orte auch die Literatur. Ferner vgl. Detmer, Physiol. Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen und die Vegetation v. Zea Mays, 1875; Detmer in Wollny's Forschungen auf d. Gebiete d. Agriculturphysik, Bd. 2, und Sachsse, Ueber einige chem. Vorgänge bei d. Keimung v. Pisum sativum, 1872.

Wir stellen einen Längsschnitt rechtwinkelig zur Blattfläche aus dem Blatt von Aloë arborescens her. Die Epidermis, das grüne Parenchym und das chlorophyllfreie Wassergewebe sind bei mikroskopischer Untersuchung leicht zu erkennen. In dem grünen Gewebe sehen wir überdies parallel zur Längsaxe des Blattes gestreckte, schlauchförmige Zellen, die mit grossen Mengen nadelförmiger Krystalle von oxalsaurem Kalk dicht angefüllt sind. Diese Raphidenbündel ruhen in einem schleimigen Inhalt der Zellen, und bei der Herstellung der Schnitte treten häufig, wenn ein Raphidenschlauch zufällig geöffnet wird, diese Schleimmassen mit den Raphiden aus den Zellen hervor, so dass man sie ausserhalb des Untersuchungsobjectes in der dasselbe umgebenden Flüssigkeit beobachtet. Behandelt man die Schnitte mit Kalilauge oder Essigsäure, so lösen sich die Raphiden nicht auf. Wir stellen ferner Querschnitte aus dem Blatt von Beta vulgaris her. Bei mikroskopischer Untersuchung sieht man die Epidermis der Blattober- und Unterseite, das wenig ausgeprägte Palissadenparenchym und das an Intercellularen reiche Schwammparenchym deutlich. In dem letzteren liegen die sogen. Körnchenschläuche, Zellen, welche mit kleinen, octaëdrischen Krystallen von Kalkoxalat dicht angefüllt sind. Wir stellen auch noch einen Querschnitt aus einem etwa 5 Mm. dicken Zweige von Tilia parvifolia her. Das Querschnittsbild ist bereits unter 39 beschrieben worden; hier verdient nur die Thatsache Beachtung, dass im äusseren Theil der Markstrahlen sowie im Gewebe der primären Rinde viele Zellen vorhanden sind, die Krystalldrusen von Kalkoxalat enthalten.

Einige Pflanzen, zumal die Crassulaceen (z. B. Sempervivum, Echeveria, Bryophyllum) sind dadurch ausgezeichnet, dass ihre Säfte sehr bedeutende Mengen Aepfelsäure enthalten, die, wie Kraus [1]) specieller nachwies, zum grössten Theil an Kalk gebunden ist. Das im Zellsaft lösliche Malat macht zuweilen 50 % der Trockensubstanz des Saftes der Blätter der genannten Pflanzen aus. Wir zerreiben einige Bryophyllumblätter im Mörser, bringen den Brei auf ein trockenes Filter und bestimmen in einem kleinen Theil des gewonnenen Saftes den Trockensubstanzgehalt desselben, während die grössere Saftmenge mit der 4—5fachen Menge 96procentigen Alkohols vermischt wird. Es scheidet sich das Malat in Form eines weissen, pulverigen Niederschlages ab, den man abfiltriren, auswaschen, trocknen und wägen kann.

Es kommt heute in der Pflanzenphysiologie sehr oft darauf an, die Acidität von Pflanzensäften, d. h. den Gehalt derselben an titrirbarer Säure, festzustellen. Je nach Umständen werden verschiedene Methoden zur Anwendung kommen müssen, und wir wollen hier auf dieselben eingehen. In erster Linie ist es wichtig, die Säfte oder Extracte aus den Pflanzen zu gewinnen, in denen die Säuremenge bestimmt werden soll. Handelt es sich bei vergleichenden Untersuchungen nur um die Ermittelung relativer Werthe für die Acidität, so werden die Untersuchungsobjecte, wenn sie, wie z. B. Rheumblattstiele, sehr wasserreich sind, auf dem Reibeisen zerrieben, oder man zerquetscht die in Stücke zerschnittenen wasserärmeren Pflanzentheile möglichst vollständig in einem Porzellanmörser. Die breiigen Massen presst man im Colirtuch unter Anwendung möglichst gleichartigen Druckes mit den Händen oder unter Zuhülfenahme einer Presse aus, um den erhaltenen Saft

1) Vgl. G. Kraus, Abhandlungen d. naturforschenden Gesellschaft zu Halle, Bd. 16.

schliesslich durch Filtration zu klären. Unter Umständen ist es auch zweckmässig, die zerquetschten Pflanzenmassen mit wenig Wasser auszulaugen und die erhaltenen Flüssigkeiten zu filtriren. Handelt es sich darum, absolute Werthe für die Acidität der Pflanzentheile zu gewinnen, so werden dieselben, nachdem sie gewogen worden sind, zerquetscht, der Brei mit etwas Wasser in dickwandigen Gläsern $^1/_2$ Stunde lang bei 80 bis höchstens 90° C. im Wasserbade erwärmt, dann auf ein Filter gebracht und mit möglichst wenig heissem Wasser ausgewaschen. Bei Untersuchungen über das Verhalten der freien organischen Säuren im Organismus der Crassulaceen (vgl. unter 131) verfährt man am besten derartig, dass man die als Untersuchungsobjecte dienenden Blätter nach dem Wägen im Mörser zerquetscht, den Brei mit der erforderlichen, aber möglichst geringen Spülwassermenge in dickwandigen Gläsern $^1/_2$ Stunde lang bei 80 bis höchstens 90° C. im Wasserbade erhitzt, um ihn dann wieder mit etwas Spülwasser in den Mörser zurückzubringen und nach dem Abkühlen direct zu titriren.

Zum Titriren der Säfte, Extracte oder der breiartigen Massen verwendet man verdünnte Kali- oder Natronlauge. Man löst in 1000 Ccm. Wasser 1 Grm. Aetzkali oder Aetznatron auf, und will man recht sorgfältig verfahren, so fügt man den Lösungen noch gelöschten Kalk hinzu, lässt sie zur Bindung der vorhandenen Kohlensäure einige Zeit damit in Berührung und bewahrt die mit Hülfe eines Hebers abgenommene klare Flüssigkeit in wohl verschlossenen Gefässen auf. Die Kali- oder Natronlauge lässt man beim Titriren aus einer Burette zu den säurehaltigen Säften, Extracten oder zu dem Brei fliessen und benutzt, wenn man es mit sehr klaren Säften zu thun hat, 3—5 Tropfen einer verdünnten alkoholischen Lösung von Phenolphthalein als Indicator. In anderen Fällen, zumal beim Titriren von breiartigen Massen, muss man Curcumapapier verwenden. Bei vergleichenden Untersuchungen ist es gar nicht erforderlich, den Titer der Natron- oder Kalilauge festzustellen. Soll dies übrigens geschehen, so stellt man sich eine Normallösung einer Säure her, d. h. eine Lösung, die in 1000 Ccm. 1 Aequiv. einer einbasischen Säure, in Grm. ausgedrückt, enthält. Bei Benutzung von Oxalsäure ($C_2 H_2 O_4 + H_2 O = 126$) müssen 63 Grm. reiner Säure in 1000 Ccm. Wasser aufgelöst werden. Mit dieser Lösung ist der Titer der Kali- oder Natronlauge leicht zu ermitteln [1]).

131. Das Verhalten der freien organischen Säuren im Organismus der Crassulaceen und einiger anderer Pflanzen.

Zahlreiche Crassulaceen und andere Pflanzen, zumal succulente Gewächse, zeigen bezüglich des Gehalts ihrer Säfte an freien organischen Säuren (wir haben es in diesen Fällen namentlich mit Aepfelsäure zu thun) die höchst merkwürdige Erscheinung, dass derselbe am Tage viel geringer als in der Nacht ist. Die bezüglichen, äusserst verwickelten Verhältnisse sind noch keineswegs nach allen Richtungen hin gründlich untersucht worden. Aber einige Thatsachen stehen doch fest, und diese sollen weiter unten experimentell constatirt werden, nachdem ich zunächst in aller Kürze die Anschauungen mittheilen will, welche ich mir auf Grund der vorliegenden Untersuchungen über das Verhalten

1) Ueber Titrirmethoden vgl. Mohr, Lehrbuch d. analytisch-chem. Titrirmethode.

der organischen Säuren in den Crassulaceen gebildet habe[1]). Im Gewebe (zumal dem Blattgewebe) der Crassulaceen sowie einiger anderer Pflanzen laufen continuirlich und unter allen Umständen zwei Processe neben einander her, die für die Aciditätsverhältnisse ihrer Säfte von hervorragender Bedeutung erscheinen. Einerseits erfolgt stets Säureproduction, andererseits wird immer Säure zersetzt. Der momentane Säuregehalt ist also die Resultirende aus diesen beiden Processen[2]).

Es ist von grosser Wichtigkeit, dass sich in den Zellen der Crassulaceen unter bestimmten Umständen sehr schnell erhebliche Mengen freier Säure anhäufen können, eine Thatsache, die ohne Zweifel biologische Bedeutung für diese Organismen besitzt. Dieselben wachsen nämlich der Regel nach an trockenen und oft sehr kalkreichen Standorten; sie bedürfen daher bestimmter Mittel, durch welche die osmotische Leistungsfähigkeit ihres Zellinhaltes für den Zweck reichlicher Wasseransammlung in ihrem Gewebe erhöht und zugleich eine Bindung des ihren Zellen im Uebermaass aus dem Boden zugeführten Kalkes ermöglicht wird. Die organischen Säuren leisten beides.

Die Säuren bilden sich aus Kohlehydraten unter dem Einfluss des Sauerstoffes. Sie entstehen durch Oxydation der Assimilationsproducte. Dass sich gerade im Gewebe succulenter Pflanzen so erhebliche Säuremengen ansammeln, hängt mit der Organisation dieser Gewächse zusammen. Die Succulenten können nämlich in Folge des Besitzes einer dicken Cuticula, relativ weniger Spaltöffnungen und fleischiger Gewebe einen nur recht beschränkten Gaswechsel mit der Aussenwelt unterhalten. Sauerstoff steht ihren Zellen nicht in überreicher Menge zur Disposition, und die Verbrennung der Kohlehydrate ist daher nur eine unvollständige. Sie geht wenigstens unter bestimmten Umständen nicht bis zur Erzeugung von Kohlensäure und Wasser, sondern es werden erhebliche Quantitäten organischer Säuren als unvollständige Verbrennungsproducte angehäuft.

Der Process der Säurezersetzung, welcher continuirlich neben dem Vorgange der Säurebildung im Gewebe der Crassulaceen verläuft, ist bezüglich der Energie, mit der er erfolgt, in hohem Grade abhängig von den Temperatur- sowie den Beleuchtungsverhältnissen. Höhere Temperatur und Lichtzutritt beschleunigen die Säurezersetzung sehr erheblich. Danach muss eine Abnahme der Acidität des Crassulaceengewebes erfolgen, wenn die Pflanzen im Dunkeln hoher Temperatur ausgesetzt, oder wenn sie dem Lichteinfluss exponirt werden. Im Dunkeln — zumal bei niederer Temperatur — steigt die Acidität des Crassulaceensaftes hingegen. Und in der That wissen wir, dass die Acidität des Crassulaceensaftes einem täglichen periodischen Wechsel

---

1) Literatur: A. Mayer, Landwirthschaftl. Versuchsstationen, Bd. 18 und Bd. 21; Detmer, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. 12, und Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883; H. de Vries, Verslagen en Mededeelingen der Konikl. Akadem. van Wettenschappen, 1884; G. Kraus, Abhandlungen d. naturforschenden Gesellsch. zu Halle, Bd. 16; Warburg, Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 2. Die Ansichten, welche ich in meinen citirten Schriften über unseren Gegenstand ausgesprochen habe, sind wesentlich verschieden von den hier von mir vertretenen.

2) Abgesehen von der Zersetzung freier organischer Säuren im Gewebe der Crassulaceen findet in demselben noch continuirlich eine Bindung der Säure durch Basen statt (Kraus). Dadurch häufen sich allmählich grosse Mengen gewisser Salze in den Zellen an, und die Entstehung dieser Verbindungen, die wir hier indessen nicht weiter berücksichtigen, ist natürlich ebenfalls nicht ohne Bedeutung für die Aciditätsverhältnisse des Crassulaceensaftes.

unterworfen ist; am Tage reagirt der Saft schwach, in der Nacht stark sauer.

Das Wesen der Säurezersetzung ist auf jeden Fall in einem mit Kohlensäureproduction verbundenen Oxydationsprocesse zu suchen. Die durch Oxydation gebildete Säure wird vollkommen verbrannt, und es handelt sich hier namentlich noch um die Frage, wie es kommt, dass die Lichtstrahlen beschleunigend auf diesen Vorgang einwirken. Es wurde schon erwähnt, dass die Crassulaceen aus verschiedenen Gründen einen nur beschränkten Gaswechsel unterhalten können. Dieser Umstand ist für das Zustandekommen einer beträchtlichen Säureansammlung von maassgebender Bedeutung. Im Dunkeln herrscht offenbar Sauerstoffmangel im Crassulaceengewebe; Lichtzutritt steigert dagegen die Sauersoffquantität im Gewebe wesentlich, denn bei dem Processe der Assimilation wird Sauerstoff frei. Die assimilirenden Chlorophyllkörper sind nicht direct an dem Säurezersetzungsprocesse betheiligt, wohl aber indirect, indem sie zur Entstehung reichlicherer Sauerstoffmengen im Gewebe der Crassulaceen Veranlassung geben, die nun ihrerseits eine vollständige Verbrennung der Säure bewirken. Die dabei entstehende Kohlensäure kann in den Chlorophyllkörpern wieder verarbeitet werden, und der in Freiheit gesetzte Sauerstoff ist aufs Neue im Stande, die Säurezersetzung zu beschleunigen.

Die angeführten Verhältnisse sind in allererster Linie für die gesteigerte Säurezersetzung von Bedeutung; durch sie allein kann die Beschleunigung der Säurezersetzung unter dem Einflusse des Lichtes zur Geltung kommen. Aber es ist mir wahrscheinlich, dass die Lichtstrahlen hierbei auch noch in directer Weise betheiligt sind. Wir werden unten Experimente kennen lernen, deren Resultate zeigen, dass Lichtzutritt die Oxydation organischer Säuren ausserhalb des Organismus begünstigt. Eine directe Beeinflussung des Säurezersetzungsprocesses in den Zellen der Pflanzen durch Lichtstrahlen erscheint daher sehr wohl möglich.

Man weiss, dass Theile succulenter Pflanzen, die einige Zeit (z. B. eine Nacht lang) in einer beschränkten Luftmenge verweilen, das Volumen derselben vermindern. Es wird eben Sauerstoff bei der Bildung organischer Säuren gebunden. Dieselben Pflanzentheile vergrössern dagegen das sie umgebende Luftvolumen am Tage, indem sie Sauerstoff expiriren. Dieser Sauerstoff wird aber nicht direct aus den Molekülen der sich zersetzenden organischen Säuren abgespalten, sondern er ist ein Product wirklicher assimilatorischer Thätigkeit der Chlorophyllkörper. Die erforderliche Kohlensäure liefern freilich in der oben erörterten Weise die sich zersetzenden organischen Säuren.

Wir kommen nunmehr dazu, Anleitung zu Experimenten zu geben, deren Resultate uns über das Verhalten organischer Säuren im Organismus der Crassulaceen orientiren können.

Als Beobachtungsobjecte verwendet man in Töpfen gezogene, unter günstigen äusseren Verhältnissen kräftig entwickelte Exemplare von Bryophyllum calycinum, Echeveria metallica oder Rochea falcata (die letztere Pflanze ist besonders geeignet). Bei vergleichenden Untersuchungen über die Säureansammlung, resp. Säureabnahme im Gewebe der Blätter benutzt man entweder die beiden opponirten Glieder eines Blattpaares (z. B. Rochea), oder man experimentirt nur mit einem Blatt (z. B. Echeveria metallica) und theilt dasselbe der Länge nach in zwei möglichst gleiche Theile. Die von der Pflanze abgetrennten

Untersuchungsobjecte werden sofort gewogen. Wenn es sich darum handelt, ihren Gehalt an freier Säure nicht sofort, sondern erst nach Verlauf einiger Zeit zu bestimmen, so gelangen die Blätter z. B. auf durchfeuchtetes Fliesspapier unter Glasglocken. Den Säuregehalt der Blätter ermittelt man durch Titriren. Die beim Titriren verbrauchte Menge an Kalilauge giebt ein unmittelbares Maass für die Acidität des Zellsaftes der Untersuchungsobjecte (vergl. die Methode unter 130).

Wir führen zunächst die folgenden Versuche aus. Gegen Abend, etwa um 5 oder 6 Uhr, wird ein Blattpaar von Rochea abgeschnitten, nachdem die Pflanze den Tag über dem directen Sonnenlicht ausgesetzt gewesen war. Experimentirt man mit Bryophyllum, so entnimmt man der Pflanze einige Blattpaare, und bei Versuchen mit Echeveria verwendet man nur eins der grossen Blätter. Die Hälfte der Untersuchungsobjecte wird sofort acidimetrisch geprüft; der andere Theil am nächsten Morgen, nachdem die Blätter bis dahin bei völligem Lichtabschluss in feuchter Luft unter einer Glasglocke verweilt haben. Ich fand z. B., dass die beiden Blätter eines Blattpaares von Rochea falcata 12,6 (*a*) und 13,6 Gramm (*b*) wogen. *a* wurde nach dem Abschneiden sogleich am Abend untersucht, *b* erst am nächsten Morgen. Der Brei von *a* bedurfte 2,6, derjenige von *b* 12,5 Ccm. verdünnter Kalilauge zur Neutralisation. Auf je 10 Grm. Blattsubstanz bezogen, erhalten wir für *a* 2,1, für *b* 9,2 Ccm. Kalilauge, Differenz 7,1 Ccm. Man kann auch derartig verfahren, dass man nur ein Blatt der Pflanze am Abend abschneidet, um dasselbe sogleich auf seinen Säuregehalt zu prüfen, während man das zweite erst am nächsten Morgen von der Pflanze entfernt, nachdem dieselbe bis dahin bei völligem Lichtabschluss verweilt hat. Die Experimente ergeben stets eine erheblich höhere Acidität für den Saft derjenigen Blätter, die einige Zeit im Dunkeln verweilt haben.

Will man sich noch sicherer davon überzeugen, dass die Acidität des Saftes der Crassulaceen durch Lichtzutritt vermindert, im Dunkeln aber erhöht wird, so ist es erforderlich, das folgende Experiment auszuführen. Es werden zwei opponirte Blätter eines Exemplars von Rochea früh am Morgen abgeschnitten. Das eine Blatt wird der Länge nach halbirt, um in der einen Blatthälfte, nachdem man dieselbe gewogen hat, sofort die Acidität des Zellsaftes durch Titriren festzustellen. Die zweite Blatthälfte hängt man im dampfgesättigten Raum unter einer Glasglocke auf und verdunkelt durch Ueberdecken mit einem Pappcylinder. Das zweite Blatt wird im dampfgesättigten Raum unter einer Glasglocke bei Zutritt recht hellen diffusen Tageslichtes aufgehängt und dafür Sorge getragen, dass auch die Rückseite des Blattes durch einen in geeigneter Weise aufgestellten Spiegel reflectirtes Licht empfängt. Bei dieser Versuchsanordnung sind die Untersuchungsobjecte nahezu den gleichen Temperaturverhältnissen ausgesetzt, und es ist daher eine Wärmeentsäuerung möglichst ausgeschlossen. Prüft man Abends die Acidität der Blatthälfte sowie des Blattes, so findet man jene (natürlich bezogen auf gleiche Gewichtsmengen frischer Blattsubstanz) säurereicher als dieses. Von dem bedeutsamen Einflusse der Temperaturverhältnisse auf den Process der Säurezersetzung in den Crassulaceenblättern kann man sich leicht überzeugen, wenn man Exemplaren von Bryophyllum, Rochea oder Echeveria, die seither normalen Lebensbedingungen ausgesetzt waren, am frühen Morgen einige säurereiche Blätter entnimmt, um in einem Theil derselben sofort

die Acidität des Saftes festzustellen, während die übrigen erst auf ihren Gehalt an freier Säure untersucht werden, nachdem sie bei völligem Lichtabschluss etwa 12 Stunden lang theils bei niederer Temperatur (z. B. 12—16° C.), theils in einem Thermostaten bei 30° C. verweilt haben. Es wird sich ergeben, dass der Einfluss der hohen Temperatur trotz des Lichtausschlusses eine starke Entsäuerung herbeigeführt hat.

Wir entnehmen einem Exemplar von Rochea (man kann auch mit Echeveria oder Bryophyllum experimentiren) gegen Abend ein Blattpaar. Das eine Blatt wird sogleich auf seinen Gehalt an freier Säure untersucht, das andere Blatt halbirt man der Länge nach. Jedes der Blattstücke wird nach dem Wägen in kleine Stücke von etwa einem Ctm. Länge zerschnitten, um diese Stücke in retortenartige Gefässe zu bringen, die mit ausgekochtem und wieder völlig abgekühltem, destillirtem Wasser angefüllt sind. Das Wasser der einen Retorte wird durch Luft, dasjenige der anderen durch reinen Wasserstoff verdrängt (Methode vergl. unter 9 S. 26). Am nächsten Morgen bestimmt man den Säuregehalt der Untersuchungsobjecte, und es wird sich zeigen, dass die Blattstücke in der Luft viel freie Säure entwickelt haben, während im Wasserstoffgas höchstens geringe Quantitäten freier Säure gebildet worden sind. Es ist demnach freier Sauerstoff für die ausgiebige Säureproduction erforderlich.

Es ist schon erwähnt worden, dass Lichtzutritt die Zersetzung organischer Säuren ausserhalb des Organismus zu beschleunigen vermag, eine Thatsache, welche, wie ich bereits bemerkte, wohl sicher mit Rücksicht auf die uns hier beschäftigenden Fragen Interesse beansprucht. Den Einfluss des Lichtes auf die Säurezersetzung kann man leicht (auch in der Vorlesung) demonstriren, wenn man zu einer Lösung von 0,2 Aequiv. Oxalsäure, mit der ein Reagensglas völlig angefüllt ist, etwas frisch bereitetes Eisenoxydhydrat (hergestellt durch Vermischen einer Eisenchloridlösung mit Ammoniak und sorgfältiges Auswaschen des Niederschlages) bringt und die nach einiger Zeit intensiv gelb gefärbte Flüssigkeit in dem Probirrohr nunmehr über Quecksilber dem directen Sonnenlicht aussetzt. Es beginnt sogleich Gasentwickelung. Das Gas (Kohlensäure) sammelt sich im oberen Theile des Apparates an, während sich die Flüssigkeit unter Abscheidung eines Niederschlages von oxalsaurem Eisenoxydul entfärbt. Es ist nicht unmöglich, dass der Oxydationsprocess organischer Säuren in der Pflanze ebenfalls durch den directen Einfluss der Lichtstrahlen wesentlich gefördert wird.

Endlich wollen wir noch Experimente anstellen, welche lehren, dass succulente Pflanzentheile, wie schon erwähnt wurde, in der That relativ viel Sauerstoff aufnehmen, wenn in ihren Zellen Säureanhäufung erfolgt. Für Demonstrationszwecke in Vorlesungen genügt es vollkommen, wenn man das Experiment in folgender Weise ausführt. Wir entnehmen einem Exemplar von Rochea falcata am Abend eines heissen Sommertages ein Blatt (bei meinen Versuchen besass dasselbe ein Gewicht von 24 Grm.), zerschneiden dasselbe in Stücke und bringen diese in den oberen, bauchig erweiterten Theil des unter 13 in Fig. 14 abgebildeten Eudiometers. Wir tauchen den unteren Theil des Steigrohres in Wasser, verschliessen den Apparat und stellen ihn im Dunkeln auf. Nach Verlauf längerer Zeit (z. B. 12 Stunden) stellen wir fest, dass das Wasser sich beträchtlich im Steigrohr erhoben hat, während dies nicht bei Parallelversuchen der Fall ist, in denen wir in ein zweites Eudiometer junge Stengeltheile nicht succulenter Pflanzen (z. B. He-

lianthus) eingeführt haben. Die Rocheablattstücke unterhalten eben nicht nur normale Athmung, sondern zugleich Vinculationsathmung. Es wird viel Sauerstoff ohne entsprechende Kohlensäureproduction zur Ueberführung von Kohlehydraten in organische Säuren von ihnen absorbirt.

Bei genauen quantitativen Untersuchungen über die Sauerstoffinspiration der Succulenten muss man natürlich Quecksilber als Sperrflüssigkeit des Eudiometers benutzen und die Versuche überhaupt in einer Weise ausführen, die sich nach demjenigen, was unter 13 und 105 angeführt worden ist, von selbst ergiebt.

132. Die Gummiarten und die Pflanzenschleime.

Das arabische Gummi (Stammpflanzen: verschiedene Acaciaarten) besteht der Hauptsache nach aus Arabinsäure. Wenn man etwas arabisches Gummi in einem Uhrschälchen mit Jodjodkaliumlösung behandelt und dann Schwefelsäure hinzufügt, so nimmt die Masse nur eine braune Färbung an. Alle echten Gummiarten verhalten sich so, während sich die Pflanzenschleime bei der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure violett oder blau färben. Das Traganthgummi entsteht nach den Untersuchungen von Mohl durch Desorganisation der Mark- und Markstrahlzellen verschiedener Astragalusarten. Das Traganthgummi stellt keine homogene Masse dar, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das käufliche und gepulverte Material mit viel Wasser behandelt. Es entsteht eine Lösung, die beim Eindampfen eine farblose, glasartige Masse, das eigentliche Traganthgummi, zurücklässt, und es bildet sich ein Bodensatz, der, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, aus Amylumkörnern sowie Zellhautfragmenten besteht. Der Gehalt der einzelnen Traganthsorten an Zellmembranen, die nicht völlig in Gummi umgewandelt sind, ist ein verschiedener.

Untersucht man einen Querschnitt aus einer Knolle von Orchis mascula oder O. Morio mikroskopisch, so zeigt sich, dass das Parenchym, in welchem die Gefässbündel zerstreut liegen, aus kleinen, stärkeführenden Zellen und grossen Zellen besteht, die sehr schleimreich sind. Zieht man pulverisirte Orchideenknollen mit kaltem Wasser aus oder behandelt man den käuflichen Salep mit kaltem Wasser, so erhält man nach dem Filtriren eine klare Flüssigkeit, in der sich auf Alkoholzusatz weisse, flockige Massen des in Weingeist unlöslichen Orchideenschleims abscheiden. Dampft man die auf die angegebene Weise gewonnene Schleimlösung ein und behandelt den Rückstand mit Jodjodkalium und Schwefelsäure, so färbt er sich violett bis blau. Die schleimigen Massen in Orchideenknollen repräsentiren also kein Gummi, sondern echten Pflanzenschleim [1]).

133. Die Gerbsäuren.

Die Gerbsäuren scheinen zumal als Schutzmittel der Pflanzen gegen den Angriff von Thieren und als antiseptisch wirkende Substanzen zu fungiren. Damit hängt es auch wohl zusammen, dass in sehr vielen

1) Die Literatur über Gummiarten und Pflanzenschleime findet man zusammengestellt bei Sachsse, Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate etc., Leipzig 1877, S. 161.

Fällen gerade die peripherisch gelegenen Pflanzengewebe besonders gerbsäurereich sind. Das beste Reagens auf Gerbsäuren ist das zweifach-chromsaure Kali [1]), und wir wollen mit Hülfe desselben z. B. untersuchen, welche Gewebe der Zweige von Corylus Avellana Gerbsäure enthalten. Zur Orientirung stellen wir uns zunächst einen Querschnitt aus einem etwa 4 Mm. dicken Zweige her. Auf das Periderm folgt Collenchym, dann Rindenparenchym, ferner ein Ring, der aus stark verdickten Sklerenchymzellen besteht, ferner der Bast mit eingestreuten Bastfasern und endlich das Holz. Lassen wir der Länge nach halbirte Zweigstücke von Corylus (ich untersuchte 4 Mm. dicke Zweige im November) einige Tage in einer 10procentigen Lösung von zweifach-chromsaurem Kali liegen und untersuchen dann feine Querschnitte mikroskopisch, so ist das Vorhandensein von Gerbsäure in gewissen Geweben (namentlich in der Rinde, dem Bastparenchym und den meist einschichtigen Holzmarkstrahlen) leicht zu constatiren, denn der Inhalt der gerbsäureführenden Zellen hat sich rothbraun gefärbt.

Bei der Untersuchung des Längsschnittes aus dem Mark eines diesjährigen Rosenzweiges sehen wir, dass dasselbe einerseits aus grossen Zellen besteht, sowie ferner aus der Länge nach verlaufenden und unter einander verbundenen Zellenzügen, die das grosszellige Gewebe durchsetzen. Untersuchen wir Schnitte aus dem Rosenmark, welche auf dem Objectträger in einen Tropfen einer 10procentigen wässerigen Lösung von zweifach-chromsaurem Kali gebracht worden sind, so zeigt sich, dass der Inhalt der meisten schmalen Zellen rothbraun gefärbt erscheint. Die Gegenwart von Gerbsäure in den schmalen Zellen kann man ebenso feststellen, wenn man Schnitte des Rosenmarkes in einen Tropfen wässeriger Eisenchloridlösung oder in einen Tropfen der Lösung des schwefelsauren Eisenoxyds legt. Der Inhalt der gerbsäureführenden Zellen färbt sich dann dunkelblau. Auch die Blätter der Rosen sind sehr gerbsäurereich, und um diese Thatsache z. B. in der Vorlesung zu demonstriren, presst man ein auf Fliesspapier liegendes, zusammengefaltetes Blatt stark mit den Fingern aus, so dass der aus den Zellen austretende Saft von dem Papier festgehalten werden kann. Auf Betupfen der feuchten Papierstellen mit Eisenchloridlösung tritt die Gerbsäurereaction sofort hervor.

134. Die ätherischen Oele und Harze.

Die ätherischen Oele dürfen in vielen Fällen sicher nicht als Excrete angesehen werden, sondern man muss sie als Secrete, d. h. als Absonderungen, denen physiologische Functionen zukommen (Anlockung für die Uebertragung des Pollens nothwendiger Thiere, Fernhaltung schädlicher Thiere etc.) betrachten. Ebenso sind viele Harze gewiss als Secrete aufzufassen [2]).

Aetherische Oele sind häufig in rundlichen Intercellularräumen vorhanden. Untersuchen wir z. B. nicht gar zu dünne Querschnitte aus dem Stengel von Ruta graveolens, so sehen wir, dass auf die Epidermis ein hypodermales Gewebe und unter diesem grünes Parenchym folgt. In dem letzteren sind hier und dort mit einer gelblichen, stark licht-

1) Vgl. Sanio, Botanische Zeitung, 1863, S. 17.
2) Vgl. H. de Vries, Landwirthschaft. Jahrbücher, Bd. 10.

brechenden Flüssigkeit (eben dem ätherischen Oele) angefüllte Lücken vorhanden. Ebenso sind die intercellularen, mit ätherischem Oel angefüllten Secretbehälter leicht zu sehen, wenn man Blattquerschnitte von Citrus untersucht. Alkohol löst die ätherischen Oele auf.

Aber nicht nur in Intercellularräumen, sondern auch in Zellen eingeschlossen kommen ätherische Oele in den Pflanzen vor. Derartige Secretbehälter, und zwar speciell solche, die nach DE BARY zu der Kategorie der „kurzen Schläuche" gehören, weil die betreffenden Zellen nahezu isodiametrisch sind, finden wir z. B. bei Aristolochia Sipho. Bei der Untersuchung des Querschnittes aus einem etwa 4 Mm. dicken Stengel dieser Pflanze erkennen wir leicht das Mark sowie die Gefässbündel mit ihrem entwickelten Holz- und Basttheil. Jedes Gefässbündel ist nach aussen umrahmt vom parenchymatischen Rindengewebe, und an dieses schliesst sich ein geschlossener Ring von Sklerenchymfasern an, der zwischen den Gefässbündeln etwas nach innen vorspringt. Ausserhalb des erwähnten Ringes folgt grünes Parenchym, dann Collenchym und die Epidermis. In dem Rindenparenchym, welches ausserhalb und innerhalb des Sklerenchymfaserringes liegt, beobachtet man nun bei der Untersuchung von Quer- und auch von Längsschnitten des Aristolochiastengels das Vorhandensein zerstreut liegender Zellen, die einen gelblichen, stark lichtbrechenden Inhalt führen. Es sind dies eben die Secretbehälter, um deren Nachweis es uns zu thun war.

Lehrreich ist es auch, die Thatsache festzustellen, dass die Früchte vieler Umbelliferen reich an ätherischem Oel sind, das hier in Intercellularräumen angetroffen wird und offenbar als Schutzmittel gegen schädliche Thiere fungirt. Wir stellen z. B. Querschnitte durch die von der Seite zusammengedrückte Frucht von Carum Carvi her. Jede der beiden Theilfrüchte ist mit Endospermmassen ausgefüllt, in deren Mitte der Embryo ruht. Ferner sieht man die fünf Hauptrippen jeder Theilfrucht. Im Gewebe der Fruchtwand erblickt man die Oelstriemen, welche die mit ätherischem Oel erfüllten Intercellularräume darstellen.

Handelt es sich darum, Harzgänge kennen zu lernen, so untersucht man zweckmässig sehr zarte Querschnitte der Nadeln von Pinus sylvestris. Auf die Epidermis, deren Zellen sehr stark verdickt sind, folgt eine Schicht hypodermaler Zellen. An den beiden Kanten des Blattes ist diese Schicht verdoppelt. Die Harzgänge (es ist stets eine ganze Anzahl derselben vorhanden) stossen an die erwähnte hypodermale Schicht. Jeder Harzgang ist von einer Schicht dünnwandiger Zellen, dem Epithel, ausgekleidet, die ohne Zweifel das sich in den Gang ergiessende Secret liefern, und ferner wird jeder Harzgang von einer Schicht stark verdickter Sklerenchymfasern umsäumt. Weiter erblickt man das grüne Blattgewebe und das fast chlorophyllfreie Gewebe in der Mitte des Blattes, welches von dem grünen Gewebe durch eine Endodermis abgegrenzt ist. Das fast farblose Grundgewebe der Blattmitte zeigt sich aus dickwandigen und dünnwandigen Elementen zusammengesetzt und schliesst zwei Gefässbündel ein. Aehnlich wie das Blatt von Pinus sylvestris ist dasjenige von Pinus Pinaster gebaut. Die Nadeln der letzteren Pflanze lassen sich besser als diejenigen der ersteren Pflanze schneiden, und man hat ihnen daher, wenn sie zur Disposition stehen, bei der Untersuchung den Vorzug zu geben.

Ferner ist es sehr leicht, das Vorhandensein von Harzgängen im Stengelgewebe vieler Umbelliferen festzustellen. Wir untersuchen z. B. Querschnitte des Blüthenschaftes von Foeniculum officinale bei schwacher

Vergrösserung. Die Epidermis, das Rindengewebe, der Bast- sowie Holztheil der Gefässbündel und das Mark treten deutlich hervor. Die Harzgänge sind den Gefässbündeln vorgelagert. Sie liegen in der Rinde, zwischen den Fibrovasalsträngen und einem Gewebe, das wir sofort als Collenchym erkennen.

135. Die Farbstoffe.

Zahlreiche Pflanzentheile führen Farbstoffe von sehr verschiedenartiger Natur. Es ist hier zunächst zu betonen, dass diese Farbstoffe schon deshalb ein nicht geringes physiologisches Interesse beanspruchen, weil manche derselben uns unmittelbar Aufschluss über die Reaction derjenigen Zelltheile gewähren, in denen sie angetroffen werden. Im Zellsaft der Haare von den Blattstielen mancher Begoniaspecies sind rothe Farbstoffe gelöst, was auf saure Reaction des Zellsaftes schliessen lässt. Wird ein Haar auf dem Objectträger mit sehr verdünnter Kalilauge behandelt, so geht in der That die rothe Farbe des vorhandenen Pigmentes in eine blaue über; auf Säurezusatz tritt die rothe Farbe aber wieder hervor. Im Zellsaft der Myosotisblumenblattzellen ist blauer Farbstoff gelöst. Die Reaction des Zellsaftes ist hier eine schwach alkalische, denn Säurezusatz färbt das Pigment roth.

Wenn wir Staubfädenhaare einer Tradescantia mikroskopisch untersuchen, so können wir leicht feststellen, dass in dem Zellsafte ihrer Zellen ein violetter Farbstoff aufgelöst ist. Wir ziehen mit einer Pincette ein Stückchen Epidermis von dem Blumenblatte einer Vincaart und einer rothen Rose ab. Bei mikroskopischer Prüfung finden wir, dass beide Präparate im Zellsaft aufgelöste Pigmente enthalten. In einem Falle ist der Farbstoff aber blau, im anderen rosa.

Manche Pigmente kommen nicht im gelösten Zustande in den Zellen vor, sondern sie werden, an eine Grundmasse gebunden, in denselben angetroffen. Die mit dem Pigment imprägnirten Farbkörperchen (Chromatophoren) besitzen meistens charakteristische Formen, und wir wählen zunächst nicht gar zu reife, aber doch bereits schön geröthete Hagebutten als Untersuchungsmaterial. Wir stellen Schnitte aus dem Hypanthiumfleisch her. Die Zellen desselben enthalten neben Protoplasma und Kern zugespitzte, orangefarbene Spindeln oder in derselben Weise tingirte dreieckige Gebilde, eben die Farbkörperchen. Die orangerothe Farbe der Wurzeln der Mohrrübe (Daucus carota) wird durch Farbkörper hervorgerufen, die man leicht in Form rechteckiger Tafeln oder gestreckter Prismen bei mikroskopischer Untersuchung in den Zellen auffinden kann. Weiter stellen wir Flächenschnitte von der Oberseite der Kelchblätter eben geöffneter Blüthen von Tropaeolum majus her. In den Zellen, zumal in den Epidermiszellen, sind zahlreiche eckige, gelb gefärbte Farbkörper bei mikroskopischer Untersuchung leicht zu entdecken (vergl. Fig. 87). Die braunen Streifen an der Oberseite der Tropaeolumkelchblätter rühren,

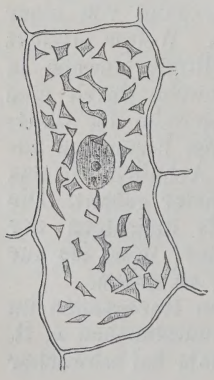


Fig. 87. Von der Oberseite des Kelches von Tropaeolum majus. Untere Wandung einer Epidermiszelle mit den ihr anliegenden Farbkörpern. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

wovon man sich beim Studium geeigneter Schnitte überzeugen wird, daher, dass die betreffenden Epidermiszellen carminrothen Zellsaft enthalten. Die gelben Pigmente der Pflanzen sind fast ausnahmslos an eine protoplasmatische Grundmasse gebunden. Nur selten treffen wir sie im Zellsaft gelöst an. Dies letztere ist z. B. der Fall in den Epidermiszellen der Blumenblätter von Verbascum nigrum [1]).

Der in den meisten gelben Blüthen enthaltene Farbstoff ist nicht ohne weiteres in Wasser löslich, wohl aber in Alkohol. Er kann mit Hülfe dieses Lösungsmittels z. B. den Kronenblättern einer gelb blühenden Ranunculusspecies leicht entzogen werden. Die meisten rothen Blüthenfarbstoffe sind hingegen in Wasser löslich, und wenn man z. B. Blumenblätter einer rothen Rose oder von Paeonia in einem Mörser mit Wasser zerquetscht, um die erhaltene Lösung abzufiltriren, so erhält man ein roth gefärbtes Filtrat, das nach meinen Beobachtungen (ich experimentirte mit Paeonia) auf Ammoniakzusatz eine blaue Farbe annimmt. Zusatz von Salzsäure stellt die rothe Farbe der Flüssigkeit wieder her. Es kann auch Interesse besitzen, die Extracte aus gelben oder rothen Blüthen spectroskopisch zu untersuchen [2]). Dabei sind die unter 7 angegebenen Methoden in Anwendung zu bringen.

Lehrreich ist es auch, sich mit den Farbstoffen, welche das Kernholz mancher Bäume enthält, bekannt zu machen. Wir untersuchen z. B. einen Querschnitt des rothen Sandelholzes (Stammpflanze: Pterocarpus santalinus). Die weiten Gefässe lehnen sich an die den Jahresringen parallel laufenden Binden des Holzparenchyms an. Ferner sehen wir die zahlreichen Markstrahlen, deren Zellen eine harzige, tief schwarzrothe Masse enthalten, und die Holzfasern mit stark verdickten Wänden. Alle Elemente des Sandelholzes führen in ihren Membranen Farbstoff, und zwar ist es besonders die rothe Santalsäure, welche in den Membranen vorkommt. Destillirtes Wasser extrahirt aus dem Sandelholz nur Spuren von Farbstoff; mit ammoniakalischem Wasser erhält man aber leicht einen carminrothen Auszug.

Die Elemente des Fernambukholzes (Stammpflanze: Caesalpinia echinata) führen in ihren Membranen einen gelblichen Farbstoff, das Brasilin. Behandelt man Fernambukholz mit heissem Wasser, so geht eine ziemliche Quantität dieses Körpers in Lösung, und die Flüssigkeit nimmt auf Ammoniak- oder Kalizusatz eine blutrothe Farbe an [3]).

136. Der mikrochemische Nachweis von Alkaloiden und einiger anderer Stoffe in den Pflanzen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass in den Geweben der verschiedensten Pflanzen Alkaloide, Glycoside oder andere Stoffe vorkommen, über deren physiologische Bedeutung bis jetzt wenig bekannt ist. Manche dieser Körper dienen den Gewächsen ohne Zweifel als Schutzmittel gegen schädliche Thiere, andere (z. B. Glycoside) liefern wohl auch unter bestimmten Umständen in Folge von Zersetzungen, denen sie un-

1) Bezüglich verschiedener hier erwähnter Verhältnisse vgl. Strasburger, Das botanische Praktikum, 1884, S. 59.

2) Vgl. Hansen, Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg, neue Folge, Bd. 18, No. 7.

3) Ueber den anatomischen Bau des Fernambukholzes vgl. Wiesner, Rohstoffe des Pflanzenreiches, 1873, S. 555.

terliegen, plastisches Material (Zucker), aber alle diese Verhältnisse sind noch wenig studirt. Ebenso sind die mikrochemischen Reactionen, deren man sich bedient hat, um die Gegenwart wenigstens einiger Alkaloide sowie Glycoside im pflanzlichen Gewebe zu constatiren, zum Theil noch ziemlich unsichere, wovon ich häufiger Gelegenheit hatte mich zu überzeugen. Einige Reactionen mögen hier dennoch Erwähnung finden.

Untersuchen wir einen dünnen Schnitt aus dem hornigen Endosperm des Samens von Strychnos nux vomica, so lässt sich leicht feststellen, dass die Zellen ziemlich dickwandig sind. Ihr Inhalt besteht aus Eiweissstoffen, Zucker und fettem Oel. Werden dünne Schnitte aus dem trockenen Samen auf dem Objectträger in einen Tropfen concentrirter Schwefelsäure gebracht, so färbt sich der Zellinhalt in einigen Minuten röthlich. Wir fügen dem in Schwefelsäure liegenden Object nun ein Splitterchen chromsauren Kalis zu, bedecken mit dem Deckglas und beobachten. Der Zellinhalt, zumal derjenige der subtestalen Endospermzellen, färbt sich bald schön violett, während die Membranen ungefärbt bleiben (Strychninreaction) [1]).

Bei der Untersuchung von Querschnitten aus dem Stamm oder den Zweigen von Berberis vulgaris (man benutze z. B. etwa 6 Mm. dicke Zweigstücke) unterscheidet man das Rindengewebe [2]) und die Gefässbündel leicht. In der Rinde, dem Weichbast sowie den Phloëmstrahlen fallen viele Zellen mit gelbem Inhalt auf, und zwar rührt diese Farbe von der Gegenwart des Berberins her. Auch im peripherischen Theil des Holzkörpers ist Berberin (nämlich als Einlagerung in die Membranen) vorhanden. Bei Behandlung der Schnitte mit Alkohol und sehr verdünnter Salpetersäure (1 Thl. Salpetersäure auf 50 Thl. Wasser) verschwindet die gelbe Farbe der berberinführenden Elemente. Die Anwesenheit grösserer Berberinmengen bedingt nun aber die Abscheidung gelber Krystalle von salpetersaurem Berberin.

Wir stellen feine Quer- oder Längsschnitte aus einer Knolle von Colchicum autumnale her. In unmittelbarer Nähe der Gefässbündel gewahrt man Zellen, die eine stark lichtbrechende, gelbliche Flüssigkeit führen, während die Hauptmasse des Parenchyms sehr stärkereich ist. Jene gelblich erscheinenden Zellen führen das Colchicin. Bei Behandlung der Schnitte mit Ammoniak nimmt ihr Inhalt eine intensiv gelbe Farbe an.

Werden Querschnitte von etwa 3 Mm. dicken Zweigstücken der Syringa vulgaris auf dem Objectträger in verdünnte Schwefelsäure (1 Volumthl. concentrirte Schwefelsäure und 2 Volumthl. Wasser) gelegt, so färben sich die Membranen der Holzelemente, der Holzmarkstrahlen sowie der Bastfasern gelbgrün und später blaugrün. Alle übrigen Zellen bleiben ungefärbt. Die erwähnte Reaction wird durch das Vorhandensein des Syringins bedingt. Dieser Körper ist in den Membranen abgelagert. Zuweilen nimmt auch der Inhalt der Zellen des Rindenparenchyms bei Behandlung der Syringaschnitte mit Schwefelsäure eine bläuliche Farbe an. Diese Erscheinung rührt aber nur daher, dass etwas Syringin bei Ausführung der Reaction durch Diffusion in diese Zellen übergetreten ist.

1) Rosoll, Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. zu Wien, Abthl. I, Bd. 89.

2) Genaue Angaben über den Bau der Berberisstammtheile, zumal auch ihrer Rinde, findet man in einer von Böning abgefassten Königsberger Dissertation vom Jahre 1885 über die Anatomie des Stammes der Berberitze.

Wir stellen Querschnitte aus etwa 3 Mm. Durchmesser besitzenden Zweigstücken von Rhamnus Frangula her und behandeln dieselben auf dem Objectträger mit weingeistiger Kalihydratlösung. Verschiedene Elemente der Schnitte, zumal die dünnwandigen Elemente des Bastes, färben sich intensiv roth, eine Färbung, die aber wenig beständig ist (Frangulinreaction).

Beim Studium der Querschnitte aus der Wurzel von Rumex crispus werden wir das Korkgewebe, die Rinde, den Bast- sowie den Holztheil der Gefässbündel leicht unterscheiden. Das Holz bildet in den etwas älteren Wurzeltheilen einen geschlossenen Cylinder, der von Markstrahlen durchsetzt wird. Werden die Schnitte mit verdünnter Kalilauge behandelt, so färbt sich namentlich der Inhalt der dünnwandigen Rinden- und Phloëmelemente intensiv roth, und zwar ist diese Färbung eine sehr beständige (Chrysophansäurereaction) [1]).

V. Die Translocation plastischer Stoffe in den Pflanzen.

137. Experimente mit keimenden Pollenkörnern.

Die Beobachtungen und Experimente, welche wir über das Verhalten der stickstoffhaltigen und stickstofffreien Körper in den Pflanzen anstellten, haben uns bereits mit einer grossen Reihe verschiedener sich auf die Stoffwanderung im vegetabilischen Organismus beziehender Thatsachen bekannt gemacht. Hier und im Folgenden sollen einige Verhältnisse der Stofftranslocation specieller behandelt werden. Als erstes Untersuchungsobject wählen wir Pollenkörner.

Wir stellen uns zuerst eine kleine feuchte Kammer her, indem wir aus nicht zu dicker Pappe einen Rahmen schneiden, dessen inneres Lumen etwas kleiner als das zu benutzende Deckglas sein muss. Dieser Papprahmen wird, nachdem er vollständig mit Wasser durchtränkt worden ist, auf einen Objectträger gelegt. Wir bringen nun einen Tropfen derjenigen Flüssigkeit, in welcher die Pollenkörner keimen sollen, auf ein Deckglas, fügen das Pollenmaterial, welches wir reifen Antheren entnommen haben, hinzu und drehen das Deckglas jetzt mit rascher Wendung um. Es wird mit nach unten gekehrtem Tropfen auf den Papprahmen gelegt, und die Keimung der Pollenkörner kann nun in dem hängenden Tropfen vor sich gehen. Wir haben nur dafür zu sorgen, dass in der feuchten Kammer kein Wassermangel eintritt. Die Pollenkörner von Alliumarten, von Tulipa Gesneriana und von Narcissus poëticus keimen nach Strasburger besonders leicht, wenn man sie in eine etwa 3procentige Auflösung von Rohrzucker in Brunnenwasser legt, und ich habe z. B. sehr schöne Resultate erzielt, als ich mit den Pollen von Allium Victoriale experimentirte. Ich übertrug die Pollenkörner einmal in einen hängenden Tropfen Brunnenwassers,

1) Vgl. Borscow, Botanische Zeitung, 1874, und O. Herrmann, Leipziger Dissertation, 1876.

ferner andere Körner in einen Tropfen 3procentiger Zuckerlösung. Bei 18—19° C. hatten sich nach Verlauf von 2 Stunden bei Lichtabschluss schon Pollenschläuche entwickelt und nach ferneren 2 Stunden waren dieselben beträchtlich gewachsen. In der Zuckerlösung keimte eine grössere Anzahl der Pollenkörner, und es wurden in derselben Zeit längere Pollenschläuche als im Brunnenwasser gebildet. Dass die Keimung der Pollenkörner mit einer Stoffwanderung verbunden sein muss, liegt auf der Hand, denn bei der Entwickelung der Pollenschläuche geht ja das Protoplasma und gehen Reservestoffe aus den Pollenkörnern in die Schläuche über. Wenn die Pollenschlauchbildung besser in der Zuckerlösung als im Wasser stattfindet, so macht diese Thatsache es wahrscheinlich, dass der von aussen aufgenommene Zucker von den keimenden Pollenkörnern als Nahrungsmittel verwerthet werden kann.

138. Experimente mit Blättern.

Die in den Blättern durch Assimilation gebildete Stärke wird nur zum kleinsten Theil für die Ausbildung des Blattes selbst verbraucht. Die Hauptmasse des Amylums verlässt das Blatt; sie wandert aus demselben in andere Organe der Pflanze, um deren Entwickelung zu ermöglichen. Das Lösungsproduct der Stärke ist in vielen Fällen ohne allen Zweifel Glycose, und diese entsteht, indem die in den Blättern vorhandenen diastatischen Fermente (vergl. unter 112) auf die Amylumkörner einwirken. Es werden Blätter von Tropaeolum, Solanum oder Cucurbita am Abend eines warmen Sommertages abgeschnitten. Man kocht sie mit Wasser aus, behandelt sie zur Entfernung des Chlorophyllfarbstoffes mit Alkohol und legt einige, um sich von der Anwesenheit reichlicher Stärkemengen in ihren Zellen zu überzeugen, in Jodlösung (vergl. unter 14). Die übrigen Blätter werden nach der Behandlung mit Alkohol mit Wasser ausgewaschen und in einem frisch bereiteten Malzextracte einige Stunden lang einer Temperatur von 45° C. ausgesetzt. Legt man die Blätter nun in Jodlösung, so geben sie keine oder höchstens noch eine schwache Stärkereaction, woraus hervorgeht, dass die Diastase im Stande ist, die durch Assimilation in den Blattzellen erzeugte Stärke aufzulösen. Dieser Auflösungsprocess geht häufig mit ganz merkwürdiger Geschwindigkeit vor sich.

Wir schneiden am Abend eines recht warmen Sommertages des Juni oder Juli einige Blätter von sehr kräftig im Freien wachsenden Solanum-, Nicotiana-, Atropa-, Cucurbita- oder Phaseoluspflanzen ab und untersuchen dieselben sofort nach der unter 14 angegebenen Methode makroskopisch auf Stärke. Die Blätter erweisen sich als sehr stärkereich. Wenn wir den genannten Pflanzen am nächsten Morgen bei Sonnenaufgang abermals einige Blätter entnehmen, um ihren Stärkegehalt makroskopisch zu prüfen, so finden wir, falls die Nacht warm war, kein Amylum in den Zellen; dasselbe ist während der Nacht aufgelöst worden und aus den Blättern in andere Organe gewandert.

Sehr lehrreich ist der folgende Versuch, den ich mit in Töpfen cultivirten Exemplaren von Tropaeolum majus anstellte. Man überzeugt sich zunächst auf makroskopischem Wege, dass die Blätter der kräftig entwickelten Untersuchungsobjecte reichliche Stärkemengen enthalten. Sie werden jetzt ins Dunkle gestellt, nachdem man noch einige Blätter von ihnen abgeschnitten hat, die man ebenfalls unter einer Glasglocke

im wassergasreichen Raum ins Finstere bringt. Nach einiger Zeit (bei meinen Versuchen, die bei einer Temperatur von nur 12—15° C. angestellt wurden, erst nach 5 Tagen,) untersucht man die abgeschnittenen Blätter und ferner solche, welche nicht abgetrennt worden waren, makroskopisch auf Amylum.

Die nicht abgetrennt gewesenen enthalten nur in den Nerven Stärke, während die abgeschnittenen noch mehr oder minder stärkereich sind. Diese letzteren konnten sich während des Verweilens im Finstern ihrer Kohlehydrate nicht entledigen, weil sie nicht mehr, wie die an der Pflanze belassenen Blätter, mit anderen Organen im Zusammenhang standen.

Wenn man Blätter von Impatiens parviflora (diese Pflanze wächst oft bei uns wild oder kann leicht im Garten an einem etwas schattigen Orte aus Samen gezogen werden) makroskopisch auf Stärke prüft, so findet man dieselbe in reichlicher Menge in den normalen Vegetationsverhältnissen ausgesetzt gewesenen Untersuchungsobjecten. Es fällt aber auf, wovon ich mich überzeugte, dass die Nerven im Vergleich zum Mesophyll stärkearm sind; sie nehmen daher in Contact mit Jodlösung eine gelbe oder nur schwach bläuliche Farbe an. Werden in Töpfen cultivirte Impatiensexemplare und einige von diesen abgeschnittene Blätter ins Dunkle gebracht, so findet man die an der Pflanze belassenen und ebenso die abgetrennten Blätter nach 48 oder 72 Stunden stärkefrei. Abgeschnittene Impatiensblätter verhalten sich also in der hier in Rede stehenden Hinsicht im Finstern anders wie abgeschnittene Tropaeolumblätter. Diese vermögen die als Lösungsproduct des Amylums entstehende Glycose, welche die noch an der Pflanze befindlichen Blätter verlässt, wieder in Stärke umzuwandeln; die Impatiensblätter sind dazu höchstens in geringem Grade im Stande.

Wir stellen nun einen Querschnitt durch das Blatt von Impatiens parviflora her und erkennen leicht, dass das Mesophyll in Palissaden- und Schwammparenchym gegliedert ist. Der Hauptnerv besteht, wie gewöhnlich bei den Blättern, aus einer peripherischen Lage langgestreckter chlorophyllarmer Zellen und aus mehreren Gefässbündeln, deren Bastseite von einer Stärkeschicht überzogen ist. Jene Schicht langgestreckter Zellen, welche die Gefässbündel der dickeren und ebenso diejenigen der dünneren Nerven umgiebt, bezeichnet man zweckmässig als Leitscheide.

Es ist schon erwähnt worden, dass die Nerven, zumal die dickeren Nerven, der unter normalen Verhältnissen zur Entwickelung gelangten Impatiensblätter auf jeden Fall stärkearm sind. Werden in Töpfen cultivirte Impatiensexemplare 24 Stunden lang verdunkelt, um einige dann abgeschnittene Blätter makroskopisch auf Stärke zu prüfen, so tritt die Stärkearmuth der Nerven noch klarer hervor. Dieselben heben sich als gelbes Netz vom blau tingirten, noch ziemlich amylumreichen Mesophyll ab. Wir belassen ferner in Töpfen cultivirte Impatienspflanzen und ebenso abgeschnittene Blätter derselben, die wir unter eine Glasglocke in einen wassergasreichen Raum bringen, 48 Stunden lang im Finstern. Sämmtliche Blätter sind fast oder völlig stärkefrei geworden. Die mikrochemische Prüfung auf Glycose (vergl. die Methode unter 115) ergiebt, wovon ich mich überzeugte, dass in den Zellen der Leitscheide der abgeschnitten gewesenen Blätter viel Zucker vorhanden ist, während die entsprechenden Zellen der nicht abgeschnittenen Blätter zuckerarm erscheinen.

Wir gelangen zu dem Schluss, dass die Leitscheide der Nerven als dasjenige Gewebe der Blätter anzusehen ist, welches die Auswanderung der Assimilationsproducte aus den Blättern in andere Organe vermittelt. Bei vielen Pflanzen, z. B. Tropaeolum, kann das aus der Stärke gebildete Lösungsproduct zumal in den Zellen der Leitscheide mit Leichtigkeit wieder transitorisch in Stärke übergeführt werden. Bei anderen Pflanzen, z. B. Impatiens, ist dies nicht oder nur in beschränktem Maasse möglich [1]).

139. Die Ringelungsversuche.

Zu Ringelungsversuchen eignen sich vor allem Weidenzweige. Am zweckmässigsten ist es, die Beobachtungen im Frühjahre anzustellen, und ich erhielt besonders gute Resultate bei Versuchen mit Salix fragilis. Die etwa 200 Mm. langen und 12 Mm. dicken Weidenzweige werden an ihrer morphologischen Basis geringelt, indem man z. B. 40 Mm. von ihrem unteren Ende entfernt einen ca. 20 Mm. breiten Rindenring fortnimmt, wodurch also der Holzkörper an dieser Stelle frei gelegt wird. Nun wird der Zweig in einem genügend hohen Glascylinder aufgehängt, indem man einen Bindfaden um das obere Zweigende schlingt und den Faden mit Hülfe von Siegellack an einer die Oeffnung des Glascylinders verschliessenden Glasplatte befestigt. Der Boden des Cylinders ist einige Mm. hoch mit Wasser bedeckt, in das das untere Zweigende aber nicht eintauchen darf. Feuchte Fliesspapierstreifen, welche die Innenfläche des Cylinders bedecken, tragen nicht unwesentlich zu einer möglichst gleichmässigen Feuchtigkeitsvertheilung im Apparat bei. Bei einem von mir angestellten Versuch verweilte ein Weidenzweig vom 19. März bis zum 21. April bei Lichtabschluss in einem Glascylinder. Das Resultat des Ringelungsversuchs ist aus nebenstehender Abbildung zu ersehen. Das kurze, 45 Mm. lange Zweigstück unterhalb der Ringelungsstelle hat kleine Wurzeln er-

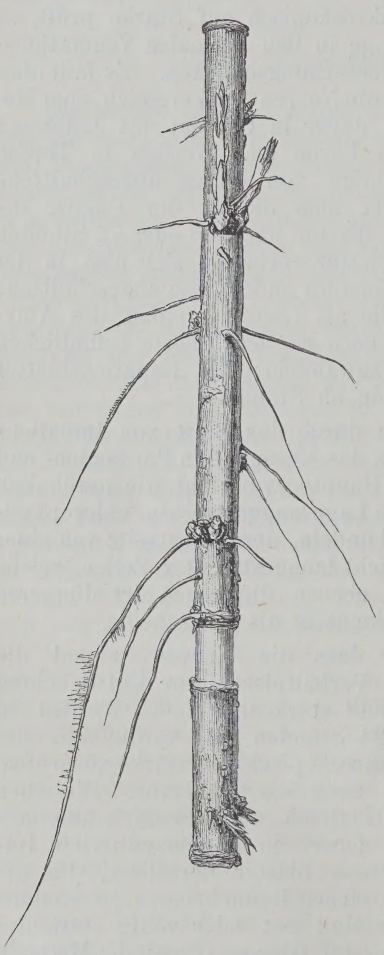


Fig. 88. Geringelter Zweig von Salix fragilis, an dessen oberem Theil kräftige Wurzeln und Triebe zur Entwickelung gekommen sind.

1) Literatur: Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 3, Heft 1 (sehr wichtige Arbeit). Schimper, Botan. Zeitung, 1885, Nr. 47—49.

zeugt; aus dem Zweigstück oberhalb der Ringelungsstelle sind lange Wurzeln und am oberen Ende auch Triebe hervorgegangen. Die Ursache, weshalb an dem kurzen Zweigstück unter der Ringelungsstelle nur kurze Wurzeln producirt werden, ist darin zu suchen, dass in diesem Theile des Untersuchungsobjects nicht genügende Mengen plastischen Materials zur Verfügung stehen. Die kleine Quantität stickstoffhaltiger und stickstofffreier Baustoffe im Zweigstück unter der Ringelungsstelle ist bald verbraucht. Dann können demselben freilich noch stickstofffreie Substanzen zuströmen, denn es lässt sich, wovon ich mich z. B. im Februar unter Benutzung eines Zweiges von Salix fragilis von 6 Mm. Durchmesser überzeugte, leicht feststellen (vergl. Methode unter 110), dass zumal die peripherische Holzregion der Weidenzweige viel Stärke enthält. Aber die Eiweisszuleitung, die, wie gerade die Ringelungsversuche sowie anderweitige Beobachtungen (vergl. unter 141) lehren, zumal durch Elemente des Weichbastes vermittelt wird, ist in Folge der Ringelung unterbrochen. Natürlich wird die Wurzelbildung unterhalb der Ringelungsstelle um so ausgiebiger, je höher die Stelle am Zweige liegt, von der man den Rindenring entfernt. Andererseits sah ich gar keine Wurzelbildung unterhalb der Ringelungsstelle mehr eintreten, wenn das kurze Stück am unteren Zweigende nur 20 Mm. Länge besass. Wenn man keine vollständige Ringelung vornimmt, sondern zwischen dem langen oberen und dem kurzen unteren Zweigstücke einen senkrechten Rindenstreifen als Brücke bestehen lässt, so erfolgt eine relativ ausgiebige Wurzelbildung am unteren Zweigstücke, da nicht unerhebliche Eiweissmengen die erwähnte Brücke passiren können.

Untersucht man Querschnitte aus Weidenzweigen mikroskopisch, so überzeugt man sich leicht, dass der Holzkörper der Fibrovasalstränge auf seiner Innenseite direct an das Mark grenzt. Es ist nur zwischen der eigentlichen Rinde sowie der Aussenseite des Holzes Bastgewebe vorhanden, und somit muss durch eine bis aufs Holz gehende Ringelung die Eiweissleitung unterbrochen werden.

Ganz andere Resultate wie an geringelten Weidenzweigen oder überhaupt an solchen Zweigen, welche den für die Stammgebilde dicotyler Gewächse typischen Bau besitzen, treten bei Ringelungsversuchen hervor, wenn man z. B. mit Mirabilis Jalappa oder Nerium Oleander experimentirt. Und in der That ist der anatomische Bau der Stammgebilde dieser Pflanzen ein sehr eigenthümlicher.

Stellt man Querschnitte aus etwa 4 Mm. dicken Stengeln von Mirabilis her, so erblickt man bei mikroskopischer Untersuchung die Epidermis, die primäre Rinde mit ihrem äusseren Collenchymring, ferner besonders einen aus stark verholzten Zellen (Sklerenchymfasern) und eingeschalteten Gefässbündeln bestehenden Ring und den centralen Stengeltheil. Dieser besteht aus Markgewebe, dessen Zellen ich noch Ende October, nachdem die Blätter der Pflanze bereits durch einen Nachtfrost getödtet waren, reichlich mit Stärke angefüllt fand, und in dem Grundgewebe vertheilten Gefässbündeln mit deutlichem Bast- und Holztheil. Von einer Ringelung werden diese centralen Gefässbündel gar nicht berührt, so dass also durch die Fortnahme eines Rindenringes in diesem Fall weder die Leitungsbahnen für die stickstofffreien noch diejenigen für die stickstoffhaltigen plastischen Stoffe eine wesentliche Unterbrechung erleiden.

Wir wählen einen kräftigen, reich beblätterten Spross von Nerium Oleander aus, entfernen in einer Höhe von etwa 20 Mm. über der

Sprossbasis einen Rindenring und befestigen das Untersuchungsobject derartig unter Beihülfe von Watte in der Bohrung eines Korkes, der ein mit Wasser angefülltes Gefäss verschliesst, dass der Spross mit seinem unteren Ende etwa 80 Mm. weit in das Wasser eintaucht.

Bei hinreichend hoher Temperatur und nicht zu grosser Trockenheit der Luft (es ist zweckmässig, die Neriumsprosse im Warmhause zu halten) brechen nach einiger Zeit zahlreiche Wurzeln aus dem oberhalb der Ringelungsstelle befindlichen noch vom Wasser benetzten Stammtheile hervor. Weiterhin entwickeln sich ebenfalls ziemlich viele Wurzeln an der Basis des Sprosses, also unterhalb der Ringelungszone. Die Neriumsprosse verhalten sich also wesentlich anders wie die Weidensprosse, und die Ursache dieser Erscheinung ist im anatomischen Bau der Untersuchungsobjecte zu suchen. Bei Salix sind nur an der Peripherie der Gefässbündel Weichbastelemente vorhanden. Nerium besitzt nicht nur auf der Aussen-, sondern ebenso auf der Innenseite der Gefässbündel Weichbast, wovon man sich durch mikroskopische Untersuchung zarter Querschnitte leicht überzeugen kann. Bei Nerium wird also die Bahn für die Eiweissleitung durch die Ringelung keineswegs völlig unterbrochen, während dies bei Salix der Fall ist. Bei Nerium können dem unterhalb der Ringelungsstelle liegenden Stengeltheile erhebliche Mengen stickstofffreier und auch stickstoffhaltiger plastischer Stoffe zuströmen, und aus diesem Grunde ist eine ziemlich ausgiebige Wurzelbildung an demselben möglich [1]).

140. Die Stärke- und Zuckerscheide und ihre Functionen bei der Stoffwanderung.

Zahlreiche Pflanzen sind durch den Besitz einer entwickelten Stärkescheide ausgezeichnet, und wir können dieselbe z. B. bequem beobachten, wenn wir Querschnitte durch den Stengel von Bohnenpflanzen ausführen, die sich im Dunkeln so weit ausgebildet haben, dass das erste Stengelglied erheblich gestreckt ist. Epidermis, Rinde, Mark sowie Gefässbündelkreis sind leicht zu unterscheiden. Der letztere wird an seiner Peripherie, also auf seiner Bastseite, rings von einer Zellenschicht umgeben, deren Elemente kleiner sind als diejenigen des Rindengewebes, und dies ist eben die Stärkescheide. Wir finden reichliche Mengen von Stärke in den Zellen der erwähnten Gefässbündelscheide, eine Thatsache, die zu der Vermuthung geführt hat, dass die Translocation der Kohlehydrate in allererster Linie in der Stärkescheide stattfinden möchte. Indessen verschiedene Verhältnisse sind nicht mit einer derartigen Anschauung in Einklang zu bringen. Man stelle im Juli Querschnitte aus dem unteren Stengeltheile kräftiger und im Freien zur Entwickelung gelangter Phaseolusexemplare her. Jedes Gefässbündel ist an seiner Aussenseite mit einem mächtigen Bastfaserbeleg versehen, und bei mikroskopischer Untersuchung kann man sich leicht davon überzeugen, dass in dem Rinden- sowie Markparenchym reichliche Amylummengen vorhanden sind. Die Zellen der Stärkescheide sind dagegen, wovon ich mich überzeugte, sehr stärkearm oder sie enthalten gar keine Stärkekörner. Danach findet die Translocation der Kohlehydrate sicher

1) Literatur: Hanstein in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissensch. Botanik, Bd. 2, und Sachs, Flora, 1863, S. 33.

hauptsächlich in der Rinde sowie im Mark statt. Die Stärkescheide enthält nur dann viel Amylum, wenn die Elemente des Bastfaserbeleges der Fibrovasalstränge noch nicht völlig ausgebildet sind. Mit fortschreitender Entwickelung derselben verschwindet aber die Stärke mehr und mehr aus den Zellen der Stärkescheide, weil sie beim Aufbau der dickwandigen Bastelemente verbraucht wird [1]).

Es ist eine schon von uns erwähnte Thatsache, dass viele Pflanzen die Fähigkeit besitzen, die aus dem Mesophyll der Blätter auswandernden Kohlehydrate transitorisch in den Ableitungsbahnen (den Blattnerven) in Stärke umzuwandeln. Andere Gewächse vermögen dies nur in geringem Grade, weshalb wir ihre Blattnerven nicht mit Stärke, sondern z. B. mit Glycose erfüllt finden. Wir stellen Querschnitte aus dem unteren Theil der Lamina und dem oberen Theil des Blattstieles eines ausgewachsenen Rübenblattes her. Die in der Spreite durch Assimilation gebildete Stärke wandert unter normalen Verhältnissen durch die Nerven und den Blattstiel in die Rübenwurzel, die Entwickelung der letzteren bedingend. Aber wir finden mit Hülfe mikrochemischer Methoden in dem Parenchym, das die Gefässbündel der Nerven sowie des Blattstieles umgiebt, nur sehr kleine Stärkemengen, hingegen grosse Glycosequantitäten, und man kann das die Kohlehydrate leitende Gewebe daher als Leitscheide, speciell als Zuckerscheide, bezeichnen [2]).

141. Die Siebröhren und ihre Function bei der Stoffwanderung.

Wenn wir den Stengel eines Exemplars von Cucurbita durchschneiden, so quillt eine bedeutende Menge einer schleimigen Flüssigkeit aus dem Querschnitt hervor. Unter Berücksichtigung der Quantität des ausfliessenden Saftes wird es uns sofort klar, dass derselbe unter Mitwirkung von Druckkräften aus der verletzten Pflanze ausgepresst werden muss, und in der That sind, wie wir weiter unten sehen werden, die Bedingungen für das Zustandekommen solcher Druckwirkungen im Organismus gegeben. Zunächst wollen wir uns über die Natur des ausgepressten Saftes unterrichten.

Wir durchschneiden den Stengel eines Exemplars von Cucurbita, z. B. C. Pepo (ich experimentirte mit C. minensis). Jetzt bringen wir ein Stückchen rothen Lackmuspapiers mit dem Stengelquerschnitt in Berührung und werden zu unserer Ueberraschung wahrnehmen, dass sich dasselbe blau färbt. Auf jeden Fall besitzt demnach ein grosser Theil des aus dem Cucurbitastengel ausfliessenden Saftes eine relativ stark alkalische Reaction, während die meisten Pflanzen, wenn sie verwundet worden sind, einen Saft von überwiegend saurer Reaction liefern, der also blaues Lackmuspapier roth färbt. Wenn wir unseren Stengelquerschnitt von Cucurbita wiederholt mit rothem Lackmuspapier abtupfen, so finden wir bald nicht mehr die Gesammtfläche des den Querschnitt berührenden Papiers gebläut, sondern nur einzelne Stellen desselben zeigen diese Farbe, diejenigen nämlich, welche mit den Gefässbündeln in Berührung gekommen sind. Bringen wir den Stengelquerschnitt nun mit blauem Lackmuspapier in Contact, so färbt sich derselbe mit Ausnahme einzelner Stellen roth. Unmittelbar nach dem

1) Vgl. H. Heine, Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft, Bd. 3, Heft 5.
2) Vgl. H. de Vries, Landwirthsch. Jahrbücher, Bd. 8, S. 445.

Durchschneiden eines Cucurbitastengels fliesst aus dem Querschnitt ein Saftgemisch von überwiegend alkalischer Reaction aus. Auf die angegebene Weise kann man sich aber leicht davon überzeugen, dass der Saft des Parenchyms bei Cucurbita, wie bei anderen Pflanzen, sauer reagirt, während die Säfte gewisser Gewebe der Fibrovasalstränge, nämlich diejenigen des Weichbastes, eine alkalische Reaction besitzen. Bei anderen Pflanzen liegen die Verhältnisse ähnlich; sie sind aber nicht so leicht sicher festzustellen [1]).

Wir stellen nun einen Querschnitt aus dem hypocotylen Gliede von Cucurbita Pepo her, und zwar benutzen wir Alkoholmaterial. Bei den

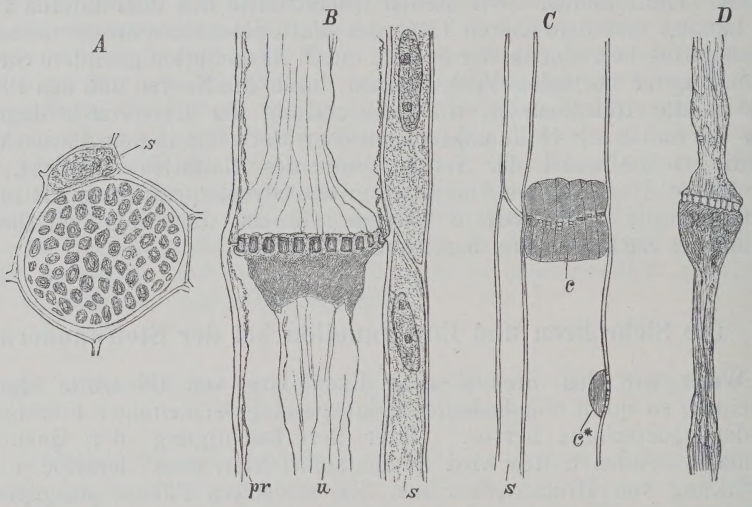


Fig. 89. Cucurbita Pepo. Theile von Siebröhren nach Alkoholmaterial. *A* im Querschnitt, *B*—*D* im Längsschnitt. *A* eine Siebplatte von oben, *B* und *C* die zwei anstossenden Siebröhrenglieder von der Seite, *D* die verbundenen Inhaltsmassen zweier Siebröhrenglieder nach Schwefelsäurebehandlung. *s* Geleitzellen, *u* Schleimstrang, *pr* Protoplasmaschlauch, *c* Callusplatte, *c** kleine, einseitige Callusplatte eines seitenständigen Siebfeldes. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

meisten Gewächsen ist nur auf der Aussenseite der Gefässbündel Weichbast vorhanden; unser Untersuchungsobject lässt aber auf der Aussen- sowie Innenseite des Holztheiles der Fibrovasalstränge das Vorhandensein von Weichbast erkennen. Stellen wir nach der unter 93 angegebenen Methode Prüfungen über den Eiweissgehalt der Gewebe an, so ergiebt sich, dass die Weichbastelemente sehr reich an Proteinstoffen sind. Der alkalisch reagirende, eiweissreiche Schleim, welcher beim Durchschneiden von Cucurbitastengeln hervorquillt, ist in besonders grosser Menge in den Siebröhren des Weichbastes vorhanden, eigenthümlichen, lang gestreckten Elementen, die durch mit vielen Poren versehene Querwände (Siebplatten) gegliedert sind. In den Siebröhren ist wandständiges Protoplasma vorhanden, und sie sind mit einem eiweissreichen, alkalisch reagirenden Schleim erfüllt, der unter Vermittelung der Siebporen aus einem Siebröhrengliede in ein anderes übergehen kann. Und in der

1) Vgl. SACHS, Botan. Zeitung, 1862.

That muss eine solche Bewegung des Schleimes in der unversehrten Pflanze durch dieselben Ursachen erfolgen, welche es bedingen, dass aus verletzten Pflanzen der Schleim hervorquillt. Die Siebröhren stehen nämlich unter dem Druck des in der Nähe vorhandenen, turgescirenden Parenchyms. Somit kann ihr Inhalt nach den Orten geringeren Druckes, zumal nach den noch sehr jugendlichen Theilen des Pflanzenkörpers hin, befördert werden, und man sieht also, was mit den Ergebnissen der Ringelungsversuche in völligem Einklange steht, dass die Siebröhren als Translocationsorgane für Eiweissstoffe im Organismus fungiren. Das Circulationseiweiss des Schleimes der Siebröhren unterliegt einer Massenbewegung in denselben und kann von einem Orte in der Pflanze zu anderen, oft weit entfernten transportirt werden. Wir müssen uns aber noch etwas genauer mit dem Bau der Siebröhren, zumal mit demjenigen der Siebplatten, vertraut machen.

Wir stellen Querschnitte aus einem 10 Mm. dicken Stengel von Cucurbita Pepo her (Alkoholmaterial). Bei schwacher Vergrösserung erkennt man die Epidermis, das unterbrochene Collenchym, das Rindengewebe, den Sklerenchymring und die in doppeltem Kreise gruppirten Gefässbündel leicht. Diese besitzen einen Holztheil mit sehr weiten Gefässen und einen inneren sowie äusseren Basttheil. Zur genaueren Untersuchung bei stärkerer Vergrösserung thut man nach Strasburger gut, die Schnitte kurze Zeit lang in Anilinblau zu legen, um sie dann in einem Tropfen Glycerin auf den Objectträger zu bringen. Das Gewebe des inneren und äusseren Bastes besteht aus weitlumigen Siebröhren, deren Geleitzellen mit ihrem dunkelblau tingirten Inhalt (vgl. Fig. 89) und aus Cambiformzellen. Die porösen Siebplatten sind, wo der Schnitt solche getroffen hat, leicht kenntlich [1]).

142. Der Milchsaft.

Zahlreiche Pflanzen enthalten bekanntlich Milchsaft. Schneidet man z. B. eine Euphorbia an, so quillt der weiss gefärbte Milchsaft oft (zumal wenn man mit cactusartigen Euphorbien experimentirt) in grosser Menge aus der Wunde hervor. Offenbar steht der Inhalt der Milchsaftbehälter unter einem nicht unerheblichen Druck, der von den turgescirenden Zellen des benachbarten Parenchyms geltend gemacht wird, denn sonst könnten beim Anschneiden Milchsaft enthaltender Pflanzen nicht so grosse Flüssigkeitsquantitäten aus der Wunde herausfliessen, wie es thatsächlich der Fall ist.

Die Frage nach der physiologischen Function der Milchsäfte ist noch ungelöst. Ich kann mich dem Eindruck nicht entziehen, dass die Milchsäfte eine ernährungsphysiologische Bedeutung besitzen; in manchen Fällen mögen sie ausserdem noch als Schutzmittel der Gewächse gegen den Angriff schädlicher Thiere dienen.

In der wässerigen Flüssigkeit der Milchsäfte sind, ebenso wie im Serum der thierischen Milch, zahlreiche kleine, feste Körpertheilchen suspendirt, wodurch die Milchsäfte meist von weisser Farbe erscheinen. Die Menge dieser festen Partikelchen ist aber je nach der Herkunft

1) Vgl. Wilhelm, Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dicotyler Pflanzen, Leipzig 1880, und Fischer, Untersuchungen über das Siebröhrensystem der Cucurbitaceen, Berlin 1884.

sowie dem momentanen Zustande des Milchsaftes eine sehr verschiedene. Wenn man einen Tropfen Milchsaft aus den Stengeln oder den Blättern der Feige ohne Wasserzusatz auf den Objectträger bringt, so kann man sich durch Beobachtung bei starker Vergrösserung leicht davon überzeugen, dass der Gehalt dieses Milchsaftes an suspendirten Theilen ein relativ geringer ist. Der Milchsaft der Euphorbien und derjenige von Ficus elastica erscheint gewöhnlich viel reicher an festen Bestandtheilen.

In der wässerigen Flüssigkeit der Milchsäfte sind Mineralstoffe, Zucker, Eiweissstoffe, zuweilen auch Pepsin (vgl. unter 95) etc. im aufgelösten Zustande vorhanden. Die suspendirten Körpertheilchen werden sehr oft der Hauptsache nach von Kautschuk gebildet. Manche Milchsäfte enthalten aber auch Fett oder Amylumkörner.

Wird etwas Milchsaft einer Euphorbie mit wenig Wasser oder Alkohol auf dem Objectträger vermischt, so tritt Gerinnung des Milchsaftes ein. Bei mikroskopischer Untersuchung ergiebt sich, dass sich die ursprünglich gleichmässig im Milchsaft suspendirten Bestandtheile desselben zu grösseren Massen zusammengeballt haben.

Die Milchsaftbehälter der Pflanzen sind von sehr verschiedenartiger Natur. Ein sehr günstiges Object für das Studium von Milchsaftbehältern giebt die Wurzel von Scorzonera hispanica (Schwarzwurzel) ab. Wir verwenden Alkoholmaterial und stellen nach Entfernung der oberflächlichen Rindenschichten tangentiale Längsschnitte her. Die leicht an ihrem Inhalt kenntlichen Milchsaftbehälter stellen in unserem Falle vielfach unter einander anastomosirende, lang gestreckte Gefässe dar, welche das kleinzellige Parenchym durchziehen.

Wir nehmen ferner Stengeltheile von Chelidonium majus in Untersuchung, und zwar benutzen wir Alkoholmaterial. Bei Beobachtung von Querschnitten sehen wir die Epidermis, Collenchym und grünes Rindenparenchym. An dieses schliesst sich nach innen ein geschlossener Ring mechanischen Gewebes, dessen Elemente stark verdickt sind. Die Gefässbündel besitzen einen entwickelten Bast- und Holztheil. Im ersteren, aber auch im Grundgewebe, welches die Fibrovasalstränge umgiebt, erblicken wir Elemente, die einen braunen Inhalt führen. Es sind das die Milchsaftgefässe. Der Milchsaft von Chelidonium besitzt bekanntlich im frischen Zustande eine orangerothe Farbe. In Folge der Behandlung des Untersuchungsmaterials mit Alkohol ist er in seinen Behältern in einen geronnenen Zustand übergegangen.

143. Die Stoffaccumulation.

Es ist offenbar eine merkwürdige Thatsache, dass bestimmte Gewebecomplexe des Pflanzenkörpers als Leitungsbahnen oder Ablagerungsorte für bestimmte Stoffe dienen. Wir sind heute nicht im Stande, uns im Detail Rechenschaft über die Ursachen dieser Phänomene zu geben; es ist dies nur im Allgemeinen möglich, und ich habe die bezüglichen Verhältnisse auch schon in meinem Lehrbuche der Pflanzenphysiologie besprochen.

Wenn z. B. eine Accumulation von Stärke in den Geweben der Reservestoffbehälter stattfinden soll, so müssen in den Zellen dieser letzteren Ursachen thätig sein, welche es bedingen, dass das zugeführte stickstofffreie Material in Form von Amylumkörnern niedergeschlagen

wird. Aehnliche Ursachen müssen ferner auch bei der transitorischen Stärkebildung in den Zellen der Leitungsbahnen der Kohlehydrate zur Geltung kommen. Die Stärkeaccumulation kann nur in Zellen erfolgen, in denen Stärkebildner ihre Thätigkeit entfalten, und indem dies geschieht, wird die Bedingung erfüllt, welche gegeben sein muss, wenn ein erneuter Zustrom gelöster Kohlehydrate nicht ausbleiben soll. Die Resultate der folgenden Experimente sind geeignet, uns eine Vorstellung von dem Wesen der Stoffaccumulation zu gewähren.

Wir füllen ein Becherglas mit verdünnter Kupfervitriollösung an und stellen eine Thonzelle, wie man sie bei der Zusammensetzung galvanischer Elemente benutzt, in das Glas. Nunmehr giessen wir reines Wasser in die Thonzelle und bringen endlich ein Stück Zinkblech in das Wasser. Die Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds dringt in die Thonzelle ein, sie verbreitet sich in dem Wasser, wird aber, wenn sie mit dem Zink in Berührung gelangt, zersetzt. Es entsteht lösliches schwefelsaures Zinkoxyd, während sich das Zink mit einer allmählich an Dicke zunehmenden Kruste von metallischem Kupfer und Kupferoxyd bedeckt. Die Accumulation von Kupfer in der Thonzelle ist also leicht zu constatiren.

Dass gelöste Stoffe ihren Lösungsmitteln durch imbibitionsfähige Körper entzogen und aufgespeichert werden können, lässt sich in folgender Weise demonstriren.

Wir versetzen Wasser mit einigen Tropfen alkoholischer Jodlösung, so dass die Flüssigkeit eine gelbliche Farbe annimmt, und fügen Weizenstärke hinzu. Diese letztere speichert das Jod auf; sie färbt sich in Folge dessen blau, während die Flüssigkeit alsbald entfärbt ist. Wir versehen ferner einen Glastrichter mit 6 oder 8 in einander gesteckten Fliesspapierfiltern und giessen eine verdünnte wässerige Methylanilinviolettlösung auf das Filter. Das Papier hält den Farbstoff vollkommen zurück. Es läuft eine wasserklare Flüssigkeit vom Filter ab.

ZWEITER THEIL.

Physiologie des Wachsthums und der Reizbewegungen.

VIERTER ABSCHNITT.

Die Zuwachsbewegungen der Pflanzen.

I. Die Eigenschaften wachsender Pflanzentheile und die auf inneren Ursachen beruhenden Wachsthumsbewegungen.

144. Die Dehnbarkeit und Elasticität wachsender Pflanzentheile.

Für die Theorie des Wachsthums ist es von grosser Bedeutung, dass die wachsenden Pflanzentheile in einem hohen Grade dehnbar und elastisch sind. Auf Details kommen wir weiter unten zurück; hier handelt es sich zunächst nur darum, diese Thatsache ganz im Allgemeinen zu constatiren [1]).

Als Untersuchungsobjecte wählen wir ganz frische, abgeschnittene Stengelstücke von Aristolochia Sipho oder Sambucus nigra. Wir bringen am oberen sowie am unteren Ende eines jüngeren und des folgenden älteren Internodiums mit chinesischer Tusche feine Striche als Marken an, fassen den Pflanzentheil mit den beiden Händen und dehnen ihn, während er auf einer Millimetertheilung liegt, so stark wie möglich, aber ohne dass die Gefahr des Zerreissens eintritt. Es ist nun leicht zu constatiren, dass die jüngeren Internodien viel dehnbarer als die älteren sind, und ich fand z. B., dass die Dehnbarkeit eines jungen, 50 Mm. langen Internodiums von Aristolochia Sipho 9 % betrug. Ueberlässt man die Sprosse nach der Dehnung sich selbst, so ziehen sie sich wieder mehr oder minder zusammen; ihr Gewebe ist also elastisch, aber da sie ihre ursprüngliche Länge nicht wieder völlig annehmen, sondern nach erfolgter stärkerer Dehnung dauernd länger bleiben, so ergiebt sich, dass sie als unvollkommen elastisch bezeichnet werden müssen.

Völlig frische, gerade gewachsene, etwa 6 Mm. dicke Internodien von Vitis oder Aristolochia werden auf einem Carton, auf dem concentrische Kreise aufgezeichnet worden sind, mittelst der beiden Hände derartig gebogen, dass die Axe des Untersuchungsobjectes mit einem der Kreise zusammenfällt. Den bekannten Radius dieses Kreises notirt

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik, 4. Aufl., S. 753.

man als Krümmungsradius des gebogenen Internodiums. Ueberlässt man den Pflanzentheil sich selbst, so streckt er sich nicht wieder gerade, sondern bleibt ziemlich stark gekrümmt, und man kann seinen Krümmungsradius auch jetzt leicht feststellen. Wachsende Pflanzentheile sind demnach biegsam. Sie besitzen freilich Biegungselasticität; dieselbe ist aber eine unvollkommene.

Wenn man geraden, in lebhaftem Längenwachsthum begriffenen Sprossen an ihrem unteren Theil, dessen Längenwachsthum bereits vollendet ist, mit Hülfe eines Stockes einen Schlag oder einige Schläge beigebracht hat, so schreitet die der gestossenen Region ertheilte Krümmung in Form einer Welle bis in den frei schwebenden Gipfel fort. Dieser erscheint in Folge dessen gekrümmt und zwar liegt die Concavität der Krümmung stets auf derjenigen Seite, von welcher der Schlag unten eintraf. Das Auftreten dieser Stoss- oder Erschütterungskrümmungen, welches ich besonders schön bei Experimenten mit Vitissprossen beobachtete, verdankt, wie in meinem Lehrbuch der Pflanzenphysiologie näher nachzusehen ist, der Biegsamkeit und unvollkommenen Elasticität der Pflanzentheile seine Entstehung.

145. Relationen zwischen der Grösse der Turgorausdehnung, des Wachsthums und der Dehnbarkeit der Pflanzentheile.

Für unseren Zweck ist es zunächst unerlässlich, die relative Wachsthumsgeschwindigkeit der auf einander folgenden Partialzonen eines Pflanzentheiles festzustellen. Wir experimentiren mit abgeschnittenen jungen Blüthenschäften von Butomus umbellatus, Plantago media und Papaver oder mit nicht abgeschnittenen epicotylen Gliedern von Phaseolus multiflorus, welche sich bis zur Länge von einigen Centimetern im Dunkeln entwickelt haben. Auf den Untersuchungsobjecten bringen wir mit Hülfe von chinesischer Tusche in Entfernungen von je 10 oder 20 Mm. feine Striche als Marken an und theilen sie dadurch der Länge nach in Partialzonen ein. Das Auftragen der Marken erfordert einige Sorgfalt und ist in der unter 56 und 146 angegebenen Weise auszuführen. Die abgeschnittenen Blüthenschäfte werden nun senkrecht in einem mit Brunnenwasser angefüllten Cylinder aufgestellt, so dass sie völlig von der Flüssigkeit bedeckt sind, während man die Bohnenstengel auch jetzt noch nicht abschneidet. Nach 12 oder 24 Stunden bestimmt man die Entfernung der Marken und wird finden, dass dieselben nicht mehr 10 oder 20 Mm. betragen, sondern grösser geworden sind. Diese Erscheinung ist die Folge eingetretenen Wachsthums. Es lässt sich nun aber leicht constatiren, was besonderes Interesse beansprucht, dass der Zuwachs der einzelnen Partialzonen keineswegs derselbe ist. Das stärkste Wachsthum hat entweder in der jüngsten Zone stattgefunden (so fand ich es in Uebereinstimmung mit H. de Vries, als ich einen jungen Blüthenschaft von Plantago, der in Partialzonen von 20 Mm. Länge eingetheilt worden war, zum Versuch benutzte), oder das Wachsthumsmaximum liegt nicht in der allerjüngsten, wohl aber in einer der jüngsten (z. B. in der dritten) Zonen. So fand ich es bei Experimenten mit dem epicotylen Glied von Phaseoluskeimlingen, die sich im Finstern, in Sägemehl wurzelnd, entwickelten. Das Epicotyl besass eine Länge von 70 Mm., und es wurden in Entfernungen von nur je 5 Mm. Tuschestriche aufgetragen. Im Laufe von 48 Stunden und bei 15° C. wuchs

die jüngste Partialzone um 1, die zweite um 3, die dritte um 8, die vierte um 6, die fünfte um 5, die sechste um 3 und die siebente um 1 Mm. Es ergiebt sich überhaupt immer, dass die Wachsthumsgeschwindigkeit der Zellen mit fortschreitendem Alter mehr und mehr abnimmt, bis ihr Wachsthum schliesslich völlig erlischt.

Haben wir die Vertheilung der Wachsthumsgeschwindigkeit an unseren Untersuchungsobjecten constatirt, so versetzen wir sie in den plasmolytischen Zustand (vgl. unter 56), indem wir sie in eine 10procentige Kochsalz- oder Salpeterlösung legen. 2—3 Mm. dicke Stengeltheile können ohne weiteres in die Salzlösung gebracht werden; dickere muss man vorher halbiren. Nach kürzerer oder längerer Zeit (3 bis 12 Stunden) ist vollkommene Plasmolyse eingetreten. Die Partialzonen haben sich in Folge der Aufhebung des Turgors verkürzt, und wenn man die Verkürzung auf die Anfangslänge der Zonen (also 5, 10 oder 20 Mm.) berechnet, so ergiebt sich, dass sie in denjenigen Regionen der Stengeltheile im Allgemeinen oder genau am bedeutendsten ausgefallen ist, in welchen das ausgiebigste Wachsthum stattfand. Es ist eine deutliche Relation zwischen der Grösse der Turgorausdehnung der Zellen der einzelnen Partialzonen und ihrer Wachsthumsgeschwindigkeit vorhanden, ein Ergebniss, welches zu der Anschauung führt, dass die Geschwindigkeit des Flächenwachsthums der Zellen von der Grösse ihrer Turgorausdehnung abhängt. Diese letztere wird nun aber bestimmt durch die Grösse der Turgorkraft und durch die Grösse des Widerstandes der gespannten Zellschichten (Protoplasma und Zellhaut). Dieser Widerstand hängt unter anderem von der Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten ab, so dass es ein besonderes Interesse gewährt, die Grösse dieser Dehnbarkeit genauer zu ermitteln.

Wir benutzen z. B. einen Blüthenschaft von Plantago zum Versuch, den wir in Partialzonen von je 20 Mm. Länge eingetheilt haben, dessen Wachsthumsgeschwindigkeit wir ermittelten und den wir dann in den plasmolytischen Zustand versetzt haben. Der schlaffe Stengel wird vorsichtig auf eine Korkplatte gelegt, sein oberes Ende mit einer kleinen Korkplatte bedeckt, und diese letztere mittelst einer Klemmschraube gegen die erstere Platte angedrückt. An dem älteren Ende des Stengels befestigt man einen Bindfaden mit einer Schlinge. Dieser wird angezogen, und, sobald die gewünschte Dehnung des Untersuchungsobjectes erzielt ist, mit Hülfe einer Nadel auf der Korkplatte festgesteckt. Die Dehnung wird nur so weit geführt, bis dem Plantagostengel jene Länge künstlich aufgenöthigt worden ist, die er vor der Plasmolyse besass. Wir stellen mit Hülfe eines Millimetermaassstabes die Dehnungsgrösse der einzelnen Partialzonen fest und berechnen dieselbe auf gleiche Anfangslänge der Zonen (20 Mm.). Es ergiebt sich, dass die Dehnbarkeit des Gewebes in den jüngeren Regionen des Pflanzentheiles erheblich viel grösser ist, als in den älteren. Es lässt sich also eine deutliche Beziehung zwischen der Wachsthumsgeschwindigkeit, der Grösse der Turgorausdehnung der Zellen und der Dehnbarkeit des Gewebes in den einzelnen Partialzonen constatiren[1]). H. de Vries hat z. B. bei Experimenten mit einem jungen Blüthenstiel von Thrincia

1) Die Grundgedanken unserer heutigen Wachsthumstheorie sind von Sachs entwickelt worden. Vergl. darüber mein Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, S. 213. Bezüglich der angeführten Experimente ist auf die Arbeit von H. de Vries, Ueber mechanische Ursachen der Zellstreckung, Halle, 1877, hinzuweisen.

hispida, den er durch Tuschestriche in 5 Zonen von je 20 Mm. Anfangslänge getheilt hatte, die folgenden Werthe für den Zuwachs der Partialzonen in 10 Stunden, für die Verkürzung in der Salzlösung und für die Längenzunahme bei der Dehnung, alles auf eine Anfangslänge der Zonen von 20 Mm. bezogen, erhalten.

Zonen	Partialzuwachs in Mm.	Verkürzung bei der Plasmolyse in Mm.	Verlängerung in Folge der Dehnung in Mm.
I. (oben)	3,3	1,8	1,9
II.	4,7	1,9	2,1
III.	4,1	2,0	1,9
IV.	0,9	0,8	0,6
V.	0,0	0,0	0,0

146. Die Contraction der Wurzeln.

Bei aufmerksamer Beobachtung zahlreicher Pflanzen fällt es auf, dass, während die Keimlinge ihre Cotyledonen über der Erde ausbreiten und die Plumula mehr oder weniger aus der Erde hervorragt, die Ansatzstellen der Cotylen und der aus der Knospe hervorgetretenen Blätter später im Boden versteckt sind. Dies nachträgliche Hineinschieben der Ansatzstellen der Blattgebilde in den Boden kann nur durch eine Contraction der Wurzeln verursacht werden, und in der That ist das Vorhandensein einer solchen von H. DE VRIES[1]) sicher festgestellt worden. Die Contraction, deren biologische Bedeutung darin zu suchen ist, dass durch sie den Knospen im Boden Schutz gewährt wird, kommt durch sehr eigenthümliche Wachsthumsverhältnisse der Wurzeln zu Stande. In den Zellen der parenchymatischen Gewebe der Wurzeln herrscht ein starker Turgor. Dieser ist die Vorbedingung für das Zustandekommen des Wachsthums. Aber da nun in den schon etwas älteren Wurzeln die Dehnbarkeit der Membranen der Zellen in der queren Richtung bedeutender ist als in der Richtung parallel zur Längsaxe der Wurzeln, so findet thatsächlich eine stärkere Dehnung der Zellen in jener als in dieser Richtung durch den Turgor statt, und es muss in Folge dessen eine Contraction der Organe eintreten. Die Verkürzung wird dann allmählich durch Wachsthum fixirt. Für uns ist es nun von besonderem Interesse, die durch den Turgor hervorgerufene Wurzelcontraction genauer kennen zu lernen, denn sie ist ja die unerlässliche Vorbedingung für die nachträglich durch das Wachsthum bedingte bleibende und nicht wieder rückgängig zu machende Verkürzung.

Wir säen Samen von Carum carvi im Sommer in gute Gartenerde im Freien aus und lassen die Pflanzen heranwachsen, bis sie 2—3 Monate alt geworden sind. Ich säete Ende Juli und benutzte das Untersuchungsmaterial Ende October. Man zieht die Pflanzen, wenn die Experimente über die Wurzelcontraction angestellt werden sollen, aus dem Boden heraus, schneidet das Kraut sofort ab, um vor einem erheblichen Wasserverlust der Wurzeln durch Transpiration der Blätter gesichert zu sein, bringt die Wurzeln ins Laboratorium und befreit sie nach dem Abwaschen und Abtrocknen von den Nebenwurzeln sowie

1) Vgl. H. DE VRIES, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 9, S. 37.

ihrem dünnen, unteren Ende. Es kommt jetzt darauf an, die Wurzeln mit Tuschemarken zu versehen, und um dies auszuführen, legt man die zu untersuchende Wurzel auf eine Korkplatte, auf deren einer Längshälfte eine zweite Korkplatte befestigt ist, welche ungefähr die Höhe der zu verwendenden Wurzel besitzt. Die Wurzel wird nun gegen den Rand der oberen Korkplatte angelegt, mit Nadeln, welche dicht neben der Wurzel in die untere Platte gesteckt werden, befestigt, um endlich unter Benutzung eines Millimetermaassstabes und eines Pinsels Tuschestriche als Marken in bestimmten Entfernungen aufzutragen. Bei meinen Versuchen mit Carumwurzeln, die am oberen Ende, d. h. an ihrer morphologischen Basis, eine Dicke von 6—9 Mm. besassen, betrug die Entfernung der beiden Marken 70—100 Mm. Die Wurzeln gelangen jetzt in flache, mit Wasser angefüllte Glasschalen. Misst man die Entfernung der Marken von einander nun nach bestimmter Zeit zu wiederholten Malen, z. B. nach 2, 4, 24, 2×24, 4×24 Stunden, so findet man, dass sie sich näher und näher rücken, bis endlich keine weitere Wurzelcontraction mehr eintritt. Die Grösse der Contraction ist erheblich; sie betrug in verschiedenen von mir beobachteten Fällen nach 24 Stunden 2,5—4 %.

Trocknet man die contrahirten Wurzeln ab, und legt man sie dann, um sie in den plasmolytischen Zustand zu versetzen, in Kochsalz- oder Kalisalpeterlösung, so ergiebt sich, dass sich die Untersuchungsobjecte unter Erschlaffung schon nach einigen Stunden erheblich verlängert haben, eine eigenthümliche Erscheinung, die aber mit der Contraction der Wurzeln bei Erhöhung des Turgors ihrer Zellen durch Wasseraufnahme im genauesten Zusammenhange steht.

Wenn Wurzeln in Wasser liegen, so wächst natürlich, trotzdem sie sich verkürzen, ihr Gesammtvolumen und ebenso das Volumen ihrer einzelnen Zellen. Es erfolgt Ausdehnung der Zellen in der zur Längsaxe der Wurzel rechtwinkeligen Richtung, die Wurzel wird dicker, und wir stellen die folgenden Beobachtungen an, um diese Ausdehnung festzustellen.

Man stellt $^1/_2$ Mm. dicke Querschnitte aus den Carumwurzeln her, isolirt durch zwei parallele Schnitte einen mittleren Theil und zeichnet die Länge desselben bei schwacher Vergrösserung (etwa 10maliger) mit Hülfe des Zeichenprismas auf Papier auf. Die Schnitte gelangen nun sofort in Wasser. Zeichnet man ihre Länge nach etwa einer Stunde wieder auf, so ergiebt ein Vergleich der neuen mit den früheren Zeichnungen, dass die Wurzelstreifen an Länge zugenommen haben. Misst man die Länge der gezeichneten Linien und dividirt die gefundenen Zahlen durch 10 (bei benutzter 10maliger Vergrösserung), so erhält man absolute Werthe für die Länge der Wurzelstreifen vor und nach der Wasseraufnahme.

147. Die Längsspannung.

Handelt es sich darum, die Thatsache festzustellen, dass in vielen Pflanzentheilen Längsspannungen vorhanden sind, so werden ganze, gerade gewachsene Internodien oder Stücke derselben auf dicken Carton, auf dem feine Linien gezogen worden sind, gelegt, und die Länge der Pflanzentheile durch zwei Punkte mittelst eines sehr spitzen Bleistiftes fixirt. Hierauf zieht man mit Hülfe eines scharfen Rasirmessers Streifen

der einzelnen Gewebe der Internodien (Epidermis [gewöhnlich mit dem Collenchym verbunden], Rinde, Holz, Mark, das man durch vier Längsschnitte vom Holze befreit) vollständig und ohne Continuitätstrennung ab, legt die isolirten Streifen, ohne sie zu zerren, auf den Carton und fixirt ihre Länge durch Punkte. Man kann nun mit Hülfe eines Millimetermaassstabes die fixirte Länge der unversehrten Internodien sowie ihrer isolirten Gewebe feststellen. Die Beobachtungen, von denen hier die Rede ist, werden zweckmässig unter Benutzung lebhaft wachsender, etwa 50 Mm. langer Internodien von Sambucus nigra, Nicotiana Tabacum, Vitis vinifera, Helianthus tuberosus angestellt. Es ergiebt sich stets, dass die Länge der isolirten Gewebestreifen von aussen nach innen zunimmt, und zwar ist das isolirte Mark lebhaft wachsender Internodien gewöhnlich weit länger, die isolirte Epidermis aber kürzer als das unversehrte Internodium, während ein isolirter Gewebestreifen, der sich ursprünglich zwischen Epidermis und Mark befand, genau oder nahezu die Länge des unversehrten Pflanzentheiles aufweist. Das Mark ist also stark positiv oder activ, die Epidermis negativ oder passiv gespannt.

Wird die Länge des unversehrten Internodiums = 100 gesetzt, und die Differenz zwischen der Länge der isolirten Epidermis sowie des isolirten Markes in Procenten ausgedrückt, so erhält man Werthe (freilich nicht solche von absoluter Genauigkeit), durch welche die Spannungsintensität in den unverletzten Pflanzentheilen zum Ausdruck gelangt. Beträgt z. B. die Gesammtlänge eines zum Versuch benutzten Internodiums 50 Mm., die Länge der isolirten Epidermis 49, diejenige des isolirten Markes 54 Mm., so wäre die Spannungsintensität im unversehrten Pflanzentheil (auf 100 Mm. Länge desselben bezogen) durch die Zahl 10 ausgedrückt. In der That erhält man derartige Werthe häufig, wenn man z. B. Internodien von Sambucus nigra untersucht.

Es ist lehrreich, die Spannungsintensität in den einzelnen auf einander folgenden Internodien eines Sprosses nach der angegebenen Methode zu ermitteln. Wenn man die Längendifferenz der isolirten Epidermis sowie Markstreifen stets auf 100 berechnet, so erhält man vergleichbare Werthe, und es ergiebt sich dann, dass die Spannungsintensität in den jüngsten Internodien gering ist, während sie in den schon etwas älteren zu bedeutender Höhe ansteigt, um in den noch älteren wieder viel geringer zu werden. Sprosse von Sambucus nigra sind hier besonders gute Untersuchungsobjecte.

Mit Bezug auf die Ursachen der Längsspannung in den Internodien ist zu bemerken, dass die Entstehung derselben in erster Linie auf die starke Turgescenz der Zellen des Markes zurückgeführt werden muss. Die Markzellen vermögen sehr grosse Wassermengen aufzunehmen. Das Mark sucht sich in Folge dessen möglichst zu strecken und ist bestrebt, die dehnbaren peripherischen Gewebe zu zerren. Diese sind aber nicht allein dehnbar, sondern zugleich elastisch und suchen ihrerseits das Mark zu comprimiren. Die bedeutende Turgescenz der Markzellen führt ferner ein besonders ausgiebiges Wachsthum derselben herbei, ein Umstand, der die Spannungsgrösse in den Internodien noch mehr steigern muss. Wenn das Mark mit fortschreitendem Alter der Stengel sein Wasser verliert und nicht mehr wächst, so erlischt nun auch die Längsspannung. Dafür kommt aber in Verbindung mit dem jetzt eintretenden ausgiebigeren Dickenwachsthum der Pflanzentheile die Querspannung zur Geltung, auf die wir unter 148 näher einzugehen haben.

Dass das Mark in der That das Vermögen besitzt, ohne Schwierigkeit beträchtliche Wassermengen aufzunehmen, lässt sich leicht in der Vorlesung über Pflanzenphysiologie unter Zuhülfenahme der Blüthenschäfte von Taraxacum officinale demonstriren. Die mikroskopische Untersuchung eines Querschnittes lehrt, dass von aussen nach innen Epidermis, Collenchym, grünes Gewebe und Markparenchym folgen; im Grundgewebe liegen die Fibrovasalstränge. Spaltet man einen jungen Blüthenschaft der Länge nach und legt die erhaltenen Stücke in Wasser, so rollen sie sich unter den Augen des Beobachters rasch schneckenförmig ein, und zwar wird die Markseite convex. (Vergl. Fig. 90.) Das Markgewebe nimmt schnell reichliche Wassermengen auf, seine Zellen strecken sich in Folge dessen, und dadurch kommt die spiralige Einrollung des Untersuchungsobjectes zu Stande. Wird ein Internodium einer Pflanze unmittelbar nach dem Abschneiden auf seine Spannungsgrösse in der früher angegebenen Weise geprüft, ein zweites, das dem ersteren möglichst ähnlich sein muss, aber erst analysirt, nachdem dasselbe durch Liegen an der Luft etwas welk geworden ist, so findet man die Differenz zwischen der isolirten Epidermis und dem isolirten Mark für das erstere grösser als für das letztere, was wieder beweist, dass der Wassergehalt der Gewebe von hoher Bedeutung für die in den Pflanzentheilen herrschenden Spannungsgrössen ist [1]).

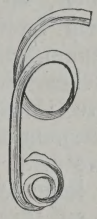


Fig. 90. Der Länge nach halbirter Blüthenschaft von Taraxacum officinale, welcher, in Wasser gelegt, in Folge von Wasseraufnahme spiralige Einrollungen erfahren hat.

148. Die Querspannung.

Handelt es sich darum, das Vorhandensein der Querspannung an irgend einer Stelle eines Stengels oder Stammes zu constatiren, so schneidet man an dieser Stelle eine Querscheibe heraus, misst den Umfang derselben, trennt durch einen senkrechten radialen Schnitt die Continuität der peripherischen Gewebe und schält dann die ganze Rinde von dem Untersuchungsobject ab. Der isolirte Rindenring wird nun wieder, ohne ihn zu dehnen, in seine natürliche Lage zurückgebracht. Es zeigt sich aber, dass seine Schnittflächen nicht mehr zusammenschliessen, woraus sich ergiebt, dass die Rinde im unversehrten Stengel oder Stamm passiv oder negativ gespannt gewesen sein musste (vgl. Fig. 91). Bestimmt man die Weite des Abstandes der Schnittflächen des nach dem Isoliren wieder in seine natürliche

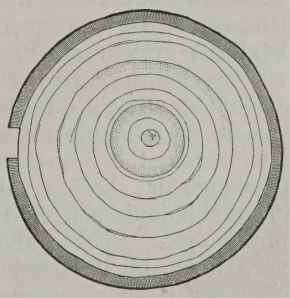


Fig. 91. Querscheibe aus einem Ast von Prunus. Die Rinde ist zunächst abgelöst und dann wieder um den Holzkörper gelegt worden.

1) Vergl. Kraus, Botan. Zeitung, 1867. Mancherlei Angaben, die für die Beurtheilung der sich auf die Gewebespannung beziehenden Verhältnisse von Wichtigkeit sind, finden sich in meinem Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 229.

Lage zurückgebrachten Rindenringes durch Messung und subtrahirt den erhaltenen Werth von dem für den Umfang der unversehrten Querscheibe gefundenen, so erhält man eine Zahl, durch welche die Grösse des nach dem Isoliren verkürzten Rindenringes zum Ausdruck gelangt. Die Spannungsintensität kann schliesslich leicht in Procenten des ursprünglichen Umfanges des Untersuchungsobjectes angegeben werden. Geeignete Untersuchungsobjecte zur Constatirung des Vorhandenseins der Querspannung sind Helianthusstengel sowie 5—10jährige Stamm- oder Aststücke von Prunus-, Pyrus- oder Salixarten. Ich habe z. B. 15 Mm. hohe Querscheiben aus Aesten von Prunus insititia und einer Salixart auf ihre Spannungsintensität geprüft. Umfang der Querscheiben 106 (Prunus), respect. 132 (Salix) Mm. Abstände der Schnittflächen 4,5, respect. 6 Mm. Spannungsintensitäten 4,2, respect. 4,5 %.

Ermittelt man die Spannungsintensität in der angegebenen Weise gleichzeitig an verschiedenen Stellen eines Stammgebildes, indem man z. B. aus einem Stengel von Helianthus annuus an der Basis, in der Mitte sowie am oberen Ende Querscheiben herausschneidet, um von diesen Rindenringe zu isoliren, so ergiebt sich im Allgemeinen, dass die Intensität der Querspannung in den jüngeren Regionen des Untersuchungsobjectes relativ gering ist, in den älteren aber erheblich zunimmt.

Das Auftreten beträchtlicherer Querspannung in den Stengeln und Stämmen ist an das Stattfinden ausgiebigeren Dickenwachsthums derselben gebunden. Der Umfang der centralen Gewebe (zumal des Holzes) nimmt in Folge des Dickenwachsthums bedeutender zu als derjenige der peripherischen. Diese werden daher gedehnt und verkürzen sich beim Isoliren. Die producirte Holzmasse besitzt nun aber keineswegs stets den gleichen Umfang; vielmehr kann die Grösse desselben beträchtliche Schwankungen erfahren, eine Thatsache, die sich leicht erklärt, wenn man bedenkt, dass der jeweilige Gehalt des Holzes an Imbibitionswasser von bedeutsamem Einfluss auf dessen Volumenverhältnisse ist. Erhöhung des Wassergehaltes des Holzes muss danach eine Steigerung der Spannungsintensität im Stamme zur Folge haben. Wenn man z. B. Querscheiben aus einem Ast von Prunus insititia herstellt, die Spannungsintensität einiger Querscheiben sofort ermittelt, diejenige anderer aber erst feststellt, nachdem die Untersuchungsobjecte 24 Stunden lang in Wasser gelegen haben, so findet man die Spannung in den letzteren grösser als in den ersteren. Bei Versuchen, die ich mit etwa 15 Mm. hohen und ca. 100 Mm. Umfang besitzenden Prunusquerscheiben ausführte, stieg die Intensität der Querscheiben durch 24stündiges Verweilen derselben in Wasser von 4,5 auf 5,5 %. Mit Bezug auf die Abhängigkeit der Spannungsverhältnisse von anderen äusseren Factoren (Temperatur, Licht) verweise ich auf die Abhandlung von G. Kraus in der botanischen Zeitung sowie auf mein Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Ebenso sind an diesen Stellen die merkwürdigen, freilich noch lange nicht eingehend genug studirten Erscheinungen der Periodicität der Gewebespannung besprochen.

149. Die Vegetationspunkte und das Längenwachsthum der Pflanzentheile.

Die Vegetationspunkte der Pflanzenorgane sind je nach Umständen von sehr verschiedenartiger Beschaffenheit. Für unsere Zwecke genügt

es, den Vegetationspunkt von Hippuris vulgaris genauer ins Auge zu fassen; ähnlich wie bei dieser Pflanze ist er auch in anderen Fällen gebaut. Wir schneiden von recht kräftig entwickelten Sprossen die Endknospe in einer Länge von etwa einem Centimeter ab, entfernen die vorhandenen Blätter so viel wie möglich und stellen zarte Längsschnitte aus der Knospe her. In Fig. 92 erblicken wir das Bild eines wohl gelungenen medianen Längsschnittes. Es ist erforderlich, die Schnitte, um die Anordnung der Zellen des Vegetationskegels klar und deutlich erkennen zu können, aufzuhellen, was z. B. dadurch erreicht wird, dass wir die Präparate mit concentrirter Kalilauge behandeln, dann mit Wasser auswaschen und in concentrirte Essigsäure legen. Die Scheidewände der mantelförmig über einander gelagerten Zellschichten bilden eine Schaar confocaler Parabeln. Die äusserste Zellschicht, aus der die Epidermis hervorgeht, bezeichnet man als Dermatogen (*d*). Es folgt dann das die Stengelrinde erzeugende, mehrschichtige Periblem (*pr*). Endlich folgt das Plerom (*pl*), aus welchem, wie tiefer am Schnitt constatirt werden kann, der axile Gefässbündelcylinder des Stengels hervorgeht. Bei Hippuris, keineswegs aber bei allen höheren Pflanzen, ist also eine scharfe Trennung des Dermatogens, Periblems und Pleroms am Vegetationskegel vorhanden.

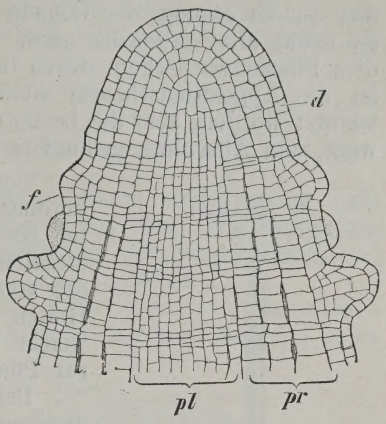


Fig. 92. Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlage. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Die Anordnung der Zellen in den Vegetationspunkten entspricht dem von Sachs[1]) aufgestellten Princip der rechtwinkeligen Schneidung. Die Antiklinen, d. h. die senkrecht die Oberfläche des Vegetationspunktes treffenden Zellwände, und die Periklinen, d. h. die mit der Oberfläche gleichsinnig gekrümmten Wände, schneiden sich in rechten Winkeln. Die antiklinen Wände stellen also eine Schaar orthogonaler Trajecthorien für die Periklinen dar. Die Erscheinung, dass die Zellwände in einem rechten Winkel auf einander treffen, ist übrigens sehr allgemein im Pflanzenreich zu beobachten. In einfachster Form können wir die rechtwinkelige Schneidung bei der Untersuchung von Algenfäden (z. B. Spirogyra) feststellen.

Wollen wir Wurzelvegetationspunkte untersuchen, so stellen wir mediane Längsschnitte aus den Wurzeln von Zea Mays oder Hordeum her. Es ist hier auch ein Dermatogen, Periblem und Plerom vorhanden; besonders auffallen wird uns die Wurzelhaube, welche den Scheitel der Wurzeln bedeckt.

Die Zellen der Vegetationspunkte der Stengel und Wurzeln sind in lebhafter Theilung begriffen. Ein ausgiebiges Flächenwachsthum,

---

1) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2.

das zur Streckung der Organe führt, erfahren die Zellen erst, wenn sie etwas älter geworden sind. Man nahm seither allgemein an, dass dies Flächenwachsthum durch Intussusception erfolge. In neuester Zeit ist die Appositionstheorie vielfach zur Erklärung der Erscheinungen benutzt worden, aber die bezüglichen Untersuchungen sind noch keineswegs zum Abschluss gelangt [1]).

Fig. 93. Unterer Theil eines Internodiums aus dem Halme von Secale. Das Stück *a* ist durch intercalares Wachsthum hervorgeschoben worden.

Bezüglich der Streckung und weiteren Ausbildung der in den Vegetationspunkten erzeugten Elemente ist namentlich zu betonen, dass dieselbe entweder an der Spitze oder der Basis der neu entstehenden Organe stattfinden kann. Halten wir uns hier an diejenigen Verhältnisse, welche beim Wachsthum der Sprossaxen höherer Pflanzen beobachtet werden können.

Bei den Gräsern — aber auch bei manchen anderen Gewächsen — bewahrt das an der Basis der einzelnen Internodien von der Blattscheide umschlossene Gewebe der Axe längere Zeit einen jugendlichen Charakter, während die höher liegenden Theile der Internodien schon in Dauergewebe übergegangen sind. Diese merkwürdige Thatsache des Vorhandenseins einer basalen, intercalaren Vegetationszone lässt sich sehr leicht durch das folgende Experiment demonstriren. Wir schneiden aus einem Halm von Secale ein Internodium heraus. Dasselbe wird in eine obere und eine untere Hälfte zerlegt. Wir stellen nun die beiden Stücke des Internodiums, die mit ihrer Basis in Wasser eintauchen, unter eine Glasglocke und finden nach Verlauf von 24 Stunden, dass sich an der oberen Hälfte des Internodiums keine Wachsthumsvorgänge geltend gemacht haben, wohl aber an der unteren. In Fig. 93 ist die untere Hälfte eines Internodiums von Secale, nachdem dieselbe 24 Stunden in feuchter Luft verweilt hatte, dargestellt. *K* ist das Knotengelenk. Der Theil *a* ist durch Wachsthumsprocesse aus den äusseren Theilen hervorgeschoben worden.

Bei der Bohne (Phaseolus) und bei vielen anderen Pflanzen befindet sich die in Streckung begriffene Region der Internodien an der Spitze derselben. Wenn man z. B. am oberen Ende des zweiten Internodiums einer Bohne, d. h. desjenigen Stengelgliedes, welches auf das Epicotyl folgt, zwei Tuschestriche als Marken in einiger Entfernung von einander anbringt, während das dritte Internodium schon lebhafte Streckung zeigt, so ergiebt sich nach 24 Stunden, dass die Entfernung der Marken erheblich grösser geworden ist. Die Bohneninternodien

1) Als Vertreter der Appositionstheorie ist z. B. Strasburger zu nennen. Die neueste Arbeit, in der die Appositionstheorie zur Geltung gebracht wird, rührt von Noll (vgl. Botan. Zeitung, 1887) her.

wachsen noch an ihrer Spitze, nachdem ihre basalen Theile bereits aufgehört haben zu wachsen; sie verhalten sich also ganz anders wie die Internodien der Gräser.

150. Das Dickenwachsthum.

Das Dickenwachsthum verschiedener Pflanzen und Organe geht durchaus nicht in ein und derselben Weise vor sich. Wir wollen uns hier darauf beschränken, das Dickenwachsthum der Stammgebilde und Wurzeln einiger dicotyler Gewächse ins Auge zu fassen.

Wir nehmen zunächst eine 3—4 Mm. dicke Sprossaxe von Aristolochia Sipho in Untersuchung und können frisches Material oder Alkoholmaterial verwenden. In Fig. 94 ist das Bild eines zarten Querschnittes bei schwacher Vergrösserung dargestellt. Man orientirt sich leicht, und es sei hier besonders darauf aufmerksam gemacht, dass die in einem Kreise angeordneten Gefässbündel noch ziemlich weit von einander getrennt sind. Das aus schmalen, radial angeordneten Zellen bestehende Fasciculararcambium (*fc*) der einzelnen Stränge setzt sich zwischen diesen in das aus dem Parenchym des Grundgewebes hevorgegangene Interfasciculararcambium (*ifc*) fort, und dadurch entsteht ein geschlossener Cambiumring.

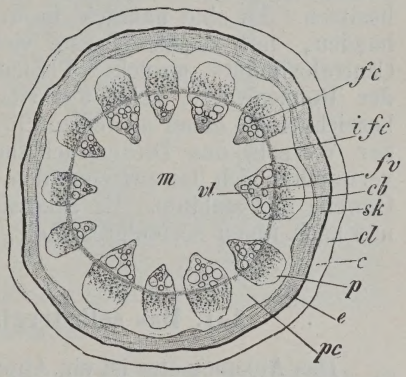


Fig. 94. Querschnitt durch einen 5 Mm. dicken Zweig von Aristolochia Sipho. *m* Mark, *fv* Gefässbündel und zwar *vl* Gefässtheil, *cb* Siebtheil, *fc* Fasciculararcambium, *ifc* Interfasciculararcambium, *p* Cribralparenchym an der Aussenseite des Siebtheiles, das den Uebergang zum Grundgewebe vermittelt, *pc* Pericykel, *sk* Sklerenchymring, *e* Stärkescheide, *c* grüne Rinde, *cl* Collenchym. Vergr. 9. (Nach Strasburger.)

Bei weiterer Entwicklung der Sprossaxen von Aristolochia erzeugt nun der Cambiumring nach innen fortdauernd Holz-, nach aussen Bastgewebe. Das auf diese Weise zu Stande kommende Dickenwachsthum der Stammtheile führt zumal zu einer sehr bedeutenden Massenzunahme des Holzkörpers der Fibrovasalstränge, wie man sofort erkennt, wenn man z. B. Querschnitte aus 10 Mm. dicken Aristolochiastengeln untersucht. Wir erblicken dabei auch etwa 10 primäre Markstrahlen, die den Holzkörper seiner gesammten Dicke nach durchsetzen, also vom Cambium bis zum Mark reichen. Secundäre Markstrahlen sind in beträchtlicher Anzahl vorhanden. Zu achten ist noch darauf, dass in der Peripherie der älter gewordenen Sprossaxen Peridermbildung eingetreten, und dass der in den jüngeren Pflanzentheilen geschlossene Sklerenchymring (vgl. Figur 94 *sk*) in einzelne Stücke zerlegt ist.

Ein günstiges Object zur Orientirung über diejenigen Veränderungen, welche in Stammtheilen in Folge des Dickenwachsthums derselben eintreten, stellt auch das hypocotyle Glied von Ricinus communis dar. In Fig. 85, S. 207 ist das Bild des Querschnittes eines Gefässbündels aus dem völlig gestreckten Hypocotyl von Ricinus dargestellt. Wir unter-

suchen Alkoholmaterial und stellen ohne Mühe das Vorhandensein des Interfascicularcambiums fest. Ebenso wie bei Aristolochia erzeugt nun dieses und das Fascicularcambium der Gefässbündel, also der gesammte Cambiumring des Ricinushypocotyls, bei dessen alsbald eintretendem, ausgiebigem Dickenwachsthum nach innen secundäres Holz, nach aussen secundäres Bastgewebe.

Wir stellen uns Schnitte aus dem oberen Theil der Wurzel einer Keimpflanze von Phaseolus multiflorus her, die eben beginnt, die ersten Nebenwurzeln zu bilden. Wir erblicken die Epidermis, das Rindengewebe und den die Gefässbündel einschliessenden Centralcylinder. Dieser wird in seinem ganzen Umfange von einem eigenthümlichen Gewebe umgeben, welches man als Endodermis bezeichnet. Besonders charakteristisch ist für die Wurzeln, dass der Holz- und Basttheil ihrer Gefässbündel eine wesentlich andere Anordnung wie in den Sprossen besitzen. Es sind nämlich in den Wurzeln mehrere Xylembündel vorhanden, mit denen ebenso viele, mehr nach der Peripherie des Centralcylinders gerückte Phloëmbündel alterniren. Der Querschnitt der Bohnenwurzel zeigt uns vier Xylem- und vier Phloëmbündel; wir bezeichnen sie daher als tetraarch. Wenn mit fortschreitender Entwicklung der Wurzeln das Dickenwachsthum derselben sich geltend macht, so verwandelt sich das zwischen den Xylem- und Phloëmbündeln vorhandene Gewebe in Cambium. Es entsteht ein geschlossener Cambiumring, der nun nach innen secundäres Holz, nach aussen secundären Bast erzeugt.

151. Das selbstregistrirende Auxanometer.

Das Auxanometer ist ein Apparat, der zur Bestimmung der Zuwachsbewegung der Pflanzen dient. Er wurde zuerst in vollkommenerer Form von Sachs [1]) construirt. Wiesner [2]) hat die Vorrichtung etwas modificirt, und da mir ein Wiesner'sches Auxanometer, das von jedem geübten Mechaniker für einen Preis von etwa 75 Mk. verfertigt werden kann, zur Verfügung stand, so sei dasselbe hier abgebildet und beschrieben.

Ein massiver Ständer (Fig. 95) aus Gusseisen trägt auf einer genau vertikal gestellten Stahlsäule (S') einen mittelst Schraube (s) verstellbaren horizontalen Messinghalter (m), an welchem eine kleine aus Hartkautschuk gearbeitete Rolle (r) mittelst eines gabelförmigen Metallstücks (d) drehbar befestigt ist, die mit einer gleichfalls aus Hartkautschuk hergestellten grösseren Rolle (R) fest verbunden ist. Beide Rollen drehen sich concentrisch um dieselbe Axe, welche aus Stahl verfertigt ist und in einem passenden soliden Lager läuft. Jede der beiden Rollen hat im Umfange eine rinnenförmige Vertiefung, welche zur Führung je eines Fadens dient. Das eine Ende des um die kleinere Rolle laufenden Fadens ist mit der Pflanze, deren Zuwachsbewegung festgestellt werden soll, verbunden; das andere Ende trägt ein zur Spannung des Fadens dienendes Gewicht (g). Der Faden der grossen Rolle wird an einem Ende durch das Gewicht g', am andern durch das Zeigergewicht Z gespannt. Dieses Zeigergewicht ist aus Hartkautschuk verfertigt und besitzt eine besondere verticale Führung. Dieselbe besteht aus zwei genau

1) Vgl. Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 112.
2) Vgl. Wiesner, Flora, 1876, S. 467.

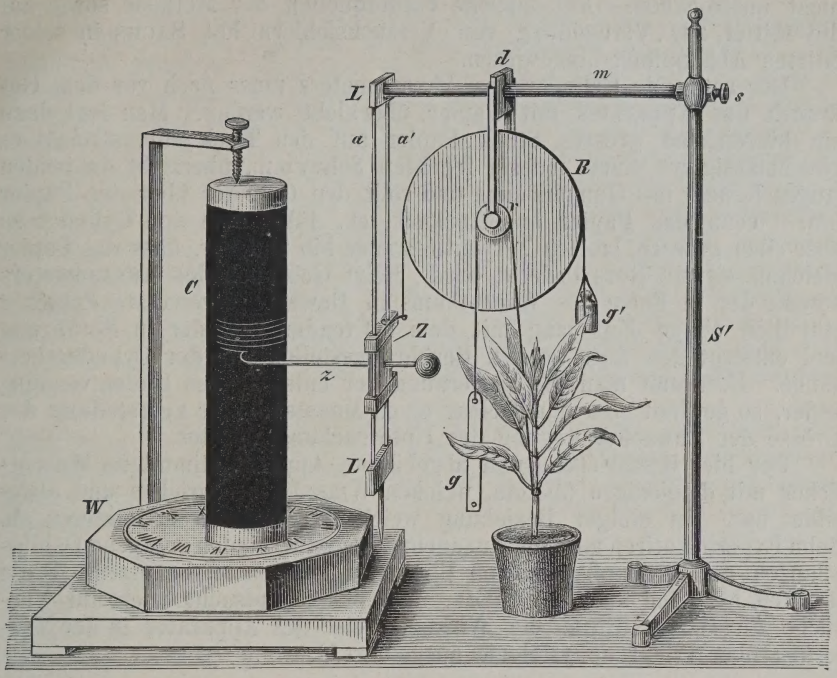


Fig. 95. Auxanometer.

vertical gestellten, sorgfältig geglätteten cylindrischen Metallstäben (a und a'), welche an den prismatischen Hartkautschukstücken L und L' befestigt sind. Das Zeigergewicht ist an vier Stellen durchbohrt, behufs Durchlass der zur Führung bestimmten Metallstäbe, und trägt noch den als Zeiger zu benutzenden Draht z. Der zum Aufschreiben dienende Cylinder C von etwa 8 Ctm. Durchmesser und 30 Ctm. Höhe ist excentrisch auf dem Stundengehwerke W aufgesetzt und dreht sich innerhalb einer Stunde genau einmal um. Der Halbmesser der kleinen Rolle kann z. B. 1,5 Ctm., derjenige der grossen 12 Ctm. betragen. Da sich nun die grosse Rolle beim Aufwärtswachsen der Pflanze proportional der Höhenzunahme der Pflanze bewegt, so ist ersichtlich, dass das Auxanometer eine achtmalige Vergrösserung giebt. Das Gewicht g' muss dem Zeigergewicht Z genau das Gleichgewicht halten; g darf nur den möglichst geringsten Zug auf die Pflanze ausüben.

Die Befestigung des Fadens (Seidenzwirn) an der Pflanze kann leicht dadurch erreicht werden, dass man an dem einen Fadenende eine Schlinge anbringt, das andere Fadenende durch diese hindurchsteckt, um den Faden endlich um das obere Ende eines Internodiums unmittelbar unter die Basis eines Blattes zu legen. Stellt man die Beobachtungen bei Lichtzutritt an, so muss man senkrecht und parallel zu dem Fenster einen Spiegel hinter die Pflanze stellen, um die störenden heliotropischen Krümmungen auszuschliessen. Die Experimente sind ferner in einem Raume, der möglichst geringe Temperaturschwankungen erfährt, auszuführen. Temperaturbestimmungen sind natürlich stets vorzunehmen. Der Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln, muss längere Zeit vor dem Versuch begossen worden sein und darf während der Beobachtungen

nicht austrocknen. Auf manche Fehlerquellen der Methode sowie auf die Mittel zur Vermeidung von Versuchsfehlern hat Sachs in seiner citirten Abhandlung hingewiesen.

Der rotirende Cylinder des Auxanometers muss noch vor dem Gebrauch des Apparates mit Papier überklebt werden. Man legt dazu ein hinreichend grosses Stück Papier auf den Tisch, überstreicht es gleichmässig mit einem mässig feuchten Schwamm, überzieht die beiden langen Ränder mit Gummilösung und rollt den Cylinder über das Papier hin. Wenn das Papier angetrocknet ist, führt man den Cylinder so über einer grossen, breiten Terpentinflamme hin und her, dass das Papier gleichmässig mit Russ bedeckt wird. Beim Gebrauch des Auxanometers kommt der in Folge des Wachsthums in Bewegung versetzte Zeiger z stündlich einige Zeit lang mit dem rotirenden Cylinder in Berührung und entfernt den Russ an den Berührungsstellen von der Cylinderoberfläche. Bestimmt man die Entfernung der entstehenden Linien von einander, so gewinnt man unmittelbar einen Maassstab zur Feststellung der Grösse der Zuwachsbewegung des Untersuchungsobjectes.

Der hier beschriebene und abgebildete Apparat stimmt im Wesentlichen mit demjenigen überein, welchen Wiesner beschrieben und abgebildet hat. In einiger Beziehung weicht er von diesem letzteren ab. Beim Experimentiren mit dem Auxanometer sind in Töpfen erzogene Dahliapflanzen und Keimpflanzen von Phaseolus bequem zu benutzen. Diese letzeren habe ich auch verwandt, aber der Hauptsache nach nur Versuche zur Demonstration der Wirkungsweise des Apparates in der Vorlesung über Pflanzenphysiologie ausgeführt [1]).

152. Die grosse Wachsthumsperiode.

Es ist eine Thatsache von fundamentaler physiologischer Bedeutung, dass alle wachsenden Pflanzentheile (Wurzeln, Stengel, Blätter etc.) selbst bei constant bleibenden äusseren Bedingungen in auf einander folgenden gleichen Zeitabschnitten nicht die nämlichen Zuwachse erfahren. Jeder Pflanzentheil wächst im Beginn seiner Entwickelung langsam; allmählich wird das Wachsthum lebhafter, erreicht ein Maximum der Geschwindigkeit, um dann wieder langsamer zu werden und schliesslich völlig zu erlöschen. Will man sich zunächst ganz im Allgemeinen über diese Thatsache unterrichten, so genügt es, einige Erbsensamen nach dem Anquellen in eine Krystallisirschale zu legen, welche nur so viel Wasser enthält, dass die Samen halb von demselben bedeckt sind. Oder man befestigt den eben angekeimten Samen einer Erbse oder Bohne mit Hülfe von Watte in der Bohrung eines Korkes, der ein mit Wasser angefülltes Glasgefäss verschliesst, so dass die Wurzel in die Flüssigkeit hineinwächst. Die Keimung der Samen erfolgt im Dunkeln bei möglichst constanter Temperatur (etwa 20 ° C.), und man stellt täglich zu bestimmter Stunde die Länge der Keimwurzeln fest. Es ergiebt sich, dass die Zuwachsgrösse jeder Wurzel zunächst relativ gering ist, allmählich beträchtlicher wird, früher oder später (bei meinen Versuchen, die bei 16 ° C. ausgeführt wurden, am 9. Tage) ein Maximum erreicht, um dann wieder geringfügiger zu werden. Ebenso kann man das folgende Verfahren bei der Feststellung der grossen Wachsthumsperiode der ganzen Wurzel in Anwendung

1) Es sei noch bemerkt, dass seit einiger Zeit gute Auxanometer von dem Universitäts-Mechaniker Albrecht in Tübingen bezogen werden können.

bringen. Man bringt einige Samen von Pisum oder Phaseolus nach dem Anquellen in lockeren, feuchten Sägespänen zur Keimung. Die Keimlinge gelangen, wenn ihre Wurzeln eine Länge von 1 Ctm. erreicht haben, und nachdem am oberen Ende jeder Wurzel mit Hülfe von Tusche ein feiner Strich als Marke angebracht worden ist, in den Erdkasten mit Glaswänden, welcher bei Besprechung der Einwirkung der Schwerkraft auf die Wurzeln beschrieben und abgebildet werden soll. Durch Messungen, die alle 24 Stunden wiederholt werden, und bei denen die Untersuchungsobjecte nicht aus der Erde herausgenommen zu werden brauchen, überzeugt man sich leicht davon, dass die sich im Dunkeln bei möglichst constanter Temperatur entwickelnden Wurzeln zunächst langsam, immer schneller und schliesslich wieder langsamer wachsen. Wir lassen nun diesen nur zur allgemeinen Orientirung angestellten Experimenten weitere folgen, die uns specieller mit den Phänomenen der grossen Wachsthumsperiode bekannt machen werden.

Wir quellen schön ausgebildete Samen von Pisum, Phaseolus oder Vicia Faba 24 Stunden lang in Wasser ein. Die Samen werden dann in feuchte Sägespäne eingelegt, die vorher jedesmal zwischen den flachen Händen gerieben und zu einem möglichst lockeren Keimbett in grossen Holzkästen oder Blumentöpfen zubereitet waren. Es ist hierbei darauf zu achten, dass die austretenden Wurzeln keine Krümmungen zu machen brauchen, um senkrecht nach abwärts wachsen zu können. Die Viciasamen legen wir derartig in die Sägespäne, dass ihre Mikropyle nach abwärts gerichtet ist. Den Phaseolussamen ertheilen wir eine horizontale Lage, so dass die austretende Hauptwurzel einen rechten Winkel mit der Längsachse des Samens bildet. Haben die Wurzeln eine Länge von 1,5—2 Ctm. erreicht, so werden die Keimlinge aus dem Keimbett herausgenommen, sorgfältig abgewaschen, mit einem Stück weicher Leinwand abgetrocknet und mit Marken versehen. Man benutzt beste schwarze chinesische Tusche, die man mit etwas Wasser auf einer Porzellanplatte angerieben hat und mit Hülfe eines Marderpinsels in Form feiner Striche auf die Untersuchungsobjecte aufträgt. Die Entfernung der einzelnen Marken von einander kann je nach Umständen 1, 1,5 oder 2 Mm. betragen. Der erste Strich wird also 1, 1,5 oder 2 Mm. entfernt vom Vegetationspunkt der Wurzel aufgetragen, der zweite 1, 1,5 oder 2 Mm. entfernt vom ersten etc. Um das Auftragen bequem und mit Ruhe vornehmen zu können, benutzt man eine etwa 2 Ctm. dicke Korkplatte, an deren linkem Rande mittelst einer runden Feile verschiedene grosse Kerben eingefeilt worden sind; von jeder derselben gehen auf der Oberfläche des Korkes einige mit dünner runder Feile gemachte Rinnen nach verschiedenen Richtungen aus. Man probirt nun, in welche Kerbe sich der Same mit einiger Reibung so einschieben lässt, dass er festhält und seine Wurzel zugleich in eine der Rinnen zu liegen kommt. Neben diese legt man eine Millimetertheilung derartig hin, dass man die mit dem Pinsel aufzutragenden Striche als Verlängerungen der Theilstriche des Maassstabes ziehen kann. Die Keimpflanzen, deren Wurzeln markirt worden sind, werden nun in der Weise, wie es Fig. 96 zeigt, mit Hülfe von langen Stecknadeln in Glascylindern befestigt. Ich benutzte Cylinder von etwa 30 Ctm. Höhe und 7—8 Ctm. Durchmesser. Die mit Hülfe von Siegellack an die untere Fläche des Glasstöpsels festgekittete Korkplatte *K*, welche man mit Wasser durchtränkt hat, dient zur Aufnahme der Nadelspitzen. Der Boden jedes Cylinders wird mit einer Wasserschicht bedeckt, so dass

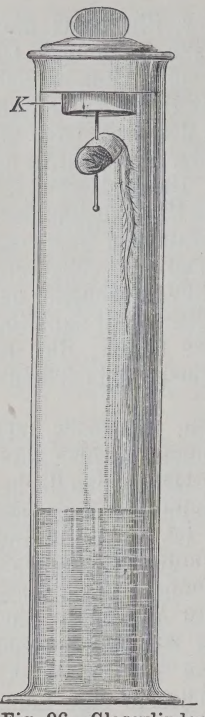


Fig. 96. Glascylinder zur Cultur von Keimpflanzen.

die Wurzeln von feuchter Luft umgeben sind. Wenn es erforderlich scheint, kann man die Wurzeln auch noch ab und an mit etwas Wasser bespritzen. Man stellt die Cylinder ins Dunkle und setzt die Keimpflanzen möglichst constant bleibenden Temperaturverhältnissen (z. B. 20° C.) aus.

Nach Verlauf von 12 oder 24 Stunden wird man leicht durch Messung feststellen können, dass das Wachsthum in der jüngsten, dem Vegetationspunkte der Wurzeln nächsten Partialzone kein übermässig ausgiebiges gewesen ist. In der nächsten Zone hat sich schon ein energischeres Wachsthum geltend gemacht. Eine der folgenden Zonen ist diejenige, in welcher das Wachsthum am lebhaftesten vor sich gegangen ist. Es folgen dann Zonen, in denen wieder langsameres Wachsthum constatirt werden kann, und die ältesten Theile der Wurzeln haben gar keinen Zuwachs mehr erfahren. Die älteren Partialzonen der Wurzeln haben das Stadium stärksten Wachsthums schon hinter sich; die jüngsten sind noch nicht in dieses Stadium eingetreten. Jede Querzone eines Pflanzentheils wächst aber, ebenso wie jedes Organ in seiner Gesammtheit, zuerst langsam, dann schneller, erreicht ein Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit, um schliesslich wieder langsamer zu wachsen. Daher findet man auch, dass die jüngsten Querzonen einer Wurzel, welche z. B. im Verlaufe von 12 Stunden nicht sehr stark gewachsen sind, in den folgenden 12 Stunden schon lebhafter wachsen. Zu einer bestimmten Zeit liegt natürlich in diesen Zonen das Maximum des Wachsthums, aber später nimmt die Wachsthumsgeschwindigkeit dann wieder ab. Es ist überhaupt lehrreich, das Wachsthum der Partialzonen einer Wurzel während längerer Zeit zu beobachten und ab und an die Zuwachse festzustellen. Eine Schwierigkeit, die aber nicht unüberwindlich ist, liegt hierbei in dem Umstande, dass die auf die Wurzeln aufgetragenen Tuschestriche in Folge des Wachsthums auseinandergezogen werden.

Bei den Untersuchungen über das Wurzelwachsthum wird dem Beobachter die beachtenswerthe Thatsache nicht entgehen, dass die Länge der wachsenden Wurzelstrecke, d. h. die Länge der ursprünglich markirten Strecke, in der nach Verlauf einiger Zeit, (z. B. 20 Stunden) überhaupt Wachsthum stattgefunden hat, stets recht gering ist. Je nach der Samenart und der Individualität der Untersuchungsobjecte ist die wachsende Wurzelregion (z. B. bei Pisum, Phaseolus etc.) nämlich nur etwa 4—8 Mm. lang. Die wachsende Region der Stengel ist im Gegensatz hierzu, wie wir sehen werden, weit länger [1]).

Wir gehen nunmehr dazu über, die grosse Wachsthumsperiode der Stengeltheile näher zu verfolgen, und es hat keine besonderen Schwierigkeiten, den allgemeinen Verlauf des Wachsthums dieser Organe festzustellen. Wir cultiviren Keimlinge von Phaseolus oder Pisum, die in lockerer Gartenerde wurzeln, bei Ausschluss des Lichts und möglichst

1) Vergl. Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 413.

constanten Temperaturverhältnissen. Durch einfache, von Tag zu Tag wiederholte Messungen kann man constatiren, dass die Internodien (die epicotylen oder die folgenden) zunächst langsam, dann schneller wachsen, zu einer bestimmten Zeit das Maximum der Streckungsgeschwindigkeit erkennen lassen, um dann wieder langsamer zu wachsen. Im Dunkeln wachsende Keimlinge (ich experimentirte z. B. mit Pisumpflanzen, die aus grossen Samen hervorgegangen waren) können unter Umständen sehr lange, aus einer ganzen Anzahl von Internodien bestehende Stengel erzeugen. Ein Exemplar meiner Untersuchungsobjecte hatte einen Stengel von über 500 Mm. Länge gebildet, und dieser bestand aus 7 Internodien. Misst man die Länge der ausgewachsenen Internodien, so findet man, dass die ältesten relativ kurz sind; es folgen längere (bei meinen Pflanzen war das fünfte das längste), und die jüngsten Internodien sind dann wieder kürzer. Es ist eine sehr allgemein zu beobachtende Erscheinung, dass die auf einander folgenden, fertig gestreckten Internodien eines Stengels nicht die nämliche Länge besitzen, eine Thatsache, die einen einfachen Ausdruck dadurch findet, dass wir sagen, die Wachsthumsenergie der einzelnen Stengelglieder ist aus inneren Wachsthumsursachen eine verschiedene.

Wir cultiviren Keimlinge von Phaseolus multiflorus bei Lichtabschluss in Blumentöpfen. Wenn die epicotylen Glieder eine Länge von etwa 50 Mm. erreicht haben, so bringen wir auf den am kräftigsten entwickelten Stengeln eine Anzahl von Tuschestrichen als Marken in Entfernungen von 3 oder 5 Mm. an. (Methode vergl. unter 146.) Die Untersuchungsobjecte bleiben im Dunkeln möglichst constanten Temperaturverhältnissen ausgesetzt. Alle 24 Stunden bestimmen wir die Grösse der Zuwachsbewegung in den einzelnen Partialzonen durch Messung. Die wachsende Region des Stengels ist im Gegensatz zu derjenigen der Wurzeln eine sehr ausgedehnte. Ich fand z. B., dass eine Strecke von 35 Mm. des Phaseolusepicotyls im Wachsthum begriffen war. In der jüngsten (obersten) Partialzone ist das Wachsthum bei Beginn des Versuchs nicht sehr ausgiebig. In der folgenden schon lebhafter. In der dritten oder vierten liegt das Wachsthumsmaximum, in den folgenden nimmt die Wachsthumsgeschwindigkeit wieder ab. Setzt man die Beobachtungen längere Zeit hindurch fort, so erlischt das Wachsthum alsbald in den älteren Partialzonen, während das Wachsthumsmaximum nicht mehr in der dritten oder vierten Zone, sondern in einer jüngeren liegt. Später nimmt auch in diesen letzteren Partialzonen die Wachsthumsgeschwindigkeit ab [1]).

Will man das Vorhandensein der grossen Periode bei dem Wachsthum der Blätter constatiren, so cultivirt man Kürbis- oder Tabakpflanzen in grossen Blumentöpfen und stellt dieselben, wenn sich einige Blätter entfaltet haben, unter grosse Glasglocken in einen Raum von möglichst constanter Temperatur, z. B. in ein nach Norden gelegenes Zimmer. Die Untersuchungsobjecte bleiben dem Licht ausgesetzt. Nahe der Basis der Spreite einiger junger Blätter hat man mit Hülfe von Tusche Punkte als Marken aufgetragen. Man misst täglich mit Hülfe eines Millimetermaassstabes die Entfernung zwischen dem Punkte an der Basis eines Blattes und der Blattspitze. Die Temperaturverhältnisse sind natürlich stets genau zu notiren. Als ich im Mai und Juni

1) Vergl. Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 99, und Wortmann, Botan. Zeitung, 1882.

das Längenwachsthum im Freien wachsender Blätter von Aristolochia Sipho verfolgte, trat zunächst bei ziemlich constant bleibender Temperatur das Phänomen der grossen Wachsthumsperiode deutlich hervor. Der Zuwachs betrug in je 24 Stunden zunächst nur 5, dann 7, fernerhin 10 Mm. Später machten sich in Folge bedeutender Temperaturschwankungen grosse Unregelmässigkeiten im Blattwachsthum geltend, aber es ist dennoch lehrreich, derartige Beobachtungen zu wiederholen, weil sie uns zeigen, wie wichtig es bei dem Studium der grossen Wachsthumsperiode der Pflanzentheile erscheint, die äusseren das Wachsthum beeinflussenden Momente keinen Augenblick unberücksichtigt zu lassen[1]).

Handelt es sich darum, die Ursachen der grossen Wachsthumsperiode ganzer Organe festzustellen, so hat man, wie ich in meinem Lehrbuch der Pflanzenphysiologie S. 249 hervorhob, namentlich die Frage nach den Ursachen der im Laufe der Entwickelung sich verändernden Wachsthumsgeschwindigkeit einzelner Partialzonen der Pflanzentheile zu beantworten. Dies ist, soweit es heute möglich erscheint, unter 145 geschehen, so dass wir hier auf die bezüglichen Angaben verweisen müssen. Bei Beginn des Wachsthums eines ganzen Organs summiren sich anfangs nur wenige und geringe Partialzuwachse, später mehr und grössere, bis endlich die Partialzuwachse wieder unbedeutender werden.

153. Die Wachsthumsgeschwindigkeit und Wachsthumsenergie.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dass die Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanzen eine überaus verschiedenartige ist. Selbst die einzelnen Individuen einer und derselben Pflanzenspecies lassen unter gleichen äusseren Verhältnissen eine verschiedene Wachsthumsgeschwindigkeit erkennen. Der experimentirende Pflanzenphysiolog hat bei seinen Untersuchungen stets Rücksicht auf das individuell differente Verhalten seiner Untersuchungsobjecte zu nehmen, das oft den Fortgang der Beobachtungen in sehr unliebsamer Weise beeinflusst, und deshalb ist es lehrreich, einmal den folgenden Versuch anzustellen. Möglichst normal und gleichartig ausgebildete Erbsen, Bohnen oder Samen anderer Pflanzen werden in grösserer Anzahl in feuchten Sägespänen zum Keimen gebracht. Genaue Messungen der Wurzeln, Stengeltheile sowie Blätter, die man nach Verlauf einiger Zeit vornimmt, lehren, dass die Wachsthumsgeschwindigkeit der einzelnen Organe bei verschiedenen Individuen derselben Species, trotzdem sämmtliche sich unter dem Einfluss genau der nämlichen äusseren Bedingungen entwickelten, keineswegs die gleiche gewesen ist. Das individuell oft sehr verschiedene Verhalten der einzelnen Untersuchungsobjecte tritt bei derartigen Beobachtungen deutlich hervor.

Unter gleichen äusseren Umständen besitzen aber auch die gleichnamigen Organe verschiedener Pflanzenspecies eine specifisch verschiedene Wachsthumsgeschwindigkeit. Die Stengel und Blätter von Aristolochia Sipho und Humulus lupulus wachsen z. B. relativ schnell; die entsprechenden Organe anderer Pflanzen sehr langsam. Sehr schnell wachsen ferner z. B. die Stengel von Polygonum Sieboldi, und ich fand

1) Vgl. Prantl, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 371.

z. B., dass ein Trieb dieser Pflanze, der am 3. Mai 60 Ctm. Höhe besass, nach 24 Stunden bei warmer, feuchter Witterung (Temperatur Abends um 11 Uhr noch 15 ° C.) eine Höhe von 71 Ctm. erreicht hatte.

Die Wachsthumsenergie ist eine Function der Wachsthumsdauer und Wachsthumsgeschwindigkeit. Es ist selbst die Wachsthumsenergie, also der schliesslich erlangte Zuwachs, der einzelnen Internodien eines Stengels nicht die gleiche. Entwickeln sich Erbsenkeimpflanzen z. B. einige Wochen im Dunkeln, und bestimmt man die Länge der einzelnen Internodien, wenn das Stengelwachsthum völlig erloschen ist, so ergiebt sich, dass die unteren Internodien kurz, die mittleren lang, die oberen wieder kürzer sind [1]).

Von Interesse ist es ferner, sich ganz im Allgemeinen davon zu überzeugen, dass es möglich ist, den Zuwachs, welchen Pflanzentheile in kurzer Zeit (z. B. 20 Minuten) erfahren, festzustellen. Ich verfuhr dabei in folgender Weise. Ein Trichterrohr (Fig. 97 *T*) wird mit seinem unteren Ende durch die Bohrung eines Kautschukkorkes geschoben, welcher ein kleines, etwas Wasser enthaltendes Glas *G* verschliesst. In den oberen, erweiterten Theil des Trichterrohres bringt man einen in feuchten Sägespänen angekeimten Samen von Pisum oder Phaseolus und breitet etwas nasse Watte über demselben aus. Die obere Oeffnung des Trichterrohres wird durch die kleine Glasplatte *Gp* verschlossen. Die Keimwurzel wächst in der feuchten Luft, welche sie umgiebt, ganz gut; sie verlängert sich beträchtlich. Wir stellen unseren Apparat nun auf einen Klinostaten (der Apparat ist weiter unten beschrieben und abgebildet), dessen Axe senkrecht gerichtet ist, und versetzen die Keimpflanze, um jede heliotropische Krümmung der Wurzel auszuschliessen, in langsame Rotation. Bevor der Klinostat in Gang gebracht wird, haben wir die Wurzelspitze in das Gesichtsfeld eines mit Hülfe eines geeigneten Stativs horizontal gerichteten Mikroskops eingestellt. Wir benutzen natürlich nur schwache Vergrösserung. Jetzt wird der Klinostat in Rotation versetzt, und wenn z. B. nach 20 Minuten die Wurzel wieder im Gesichtsfeld des Mikroskops erscheint, so lässt sich constatiren, zumal dann, wenn der Versuch bei relativ hoher Temperatur (20—25 ° C.) angestellt wird, dass der Pflanzentheil gewachsen ist. Genaue, messende Beobachtungen können natürlich nur unter Benutzung eines Ocularmikrometers ausgeführt werden.

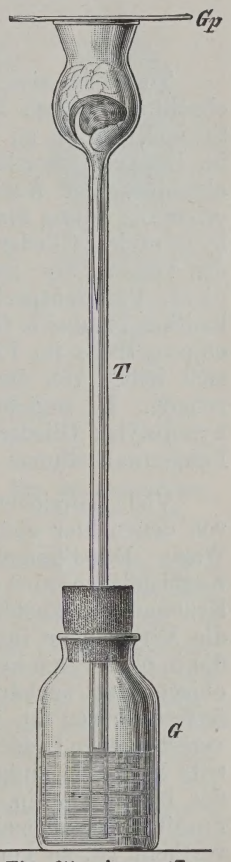


Fig. 97. Apparat zur Untersuchung des Wurzelwachsthums.

Lehrreich ist es ebenso, einige Sporen von Mucor Mucedo auf feuchtem Brot auszusäen, dasselbe in eine Krystallisirschale unter eine Glasglocke zu legen und auf einem Klinostaten in horizontaler Ebene langsam rotiren zu lassen, um das Wachsthum des Pilzes zu beobachten.

1) Vgl. Detmer, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie, 1883, S. 248.

Wenn die Sporangienträger sich entwickeln, so richtet man ein Kathetometer mit horizontalem Fernrohr auf die Mucorcultur. Die Einstellung geschieht so, dass man einen Fruchtträger mit seinem Sporangium deutlich sieht, und dass der Scheitel des Sporangiums einen Theilstrich der im Fernrohr angebrachten Mikrometerscala scheinbar berührt. Wird der Klinostat nun in Bewegung gesetzt, so lässt sich nach Verlauf kurzer Zeit (z. B. einer Stunde), wenn der Mucorfruchtträger wieder in das Gesichtsfeld des Fernrohres gelangt, sicher feststellen, dass Wachsthum stattgefunden hat. Ein Mucorfruchtträger verlängert sich in einer Stunde oft um 2—3 Mm. [1]).

154. Die Torsionen.

Torsionen sind häufig an Internodien und auch an Blättern zu beobachten. Schöne Torsionen lassen zumal ältere Internodien windender Stengel, worauf an anderer Stelle zurückgekommen werden soll, sowie im Dunkeln erwachsene Pflanzen erkennen. So sind z. B. die bei Lichtabschluss zur Ausbildung gelangten Blüthenschäfte von Hyacinthus orientalis häufig stark tordirt und ebenso die im Dunkeln erwachsenen hypocotylen Glieder von Helianthus annuus, während die entsprechenden Organe der unter normalen Verhältnissen erwachsenen Keimlinge dieser Pflanzenspecies keine Torsionen zeigen. Werden Samen von Helianthus annuus in feuchten Sägespänen ausgelegt, und die Untersuchungsobjecte theils im Finstern, theils bei Lichtzutritt cultivirt, so kann man sich leicht von der Thatsächlichkeit der erwähnten Verhältnisse überzeugen. Es ergiebt sich auch, dass die Torsionen an den etiolirten hypocotylen Gliedern der Helianthuskeimpflanzen erst gegen Ende des Längenwachsthums derselben zum Vorschein kommen.

Viele Torsionen sind Folge innerer Wachsthumsursachen. Andere, von denen hier gleich die Rede sein mag, entstehen auf ganz anderem Wege. Der Stengel einer kräftigen, in einem Blumentopf erwachsenen Kürbispflanze wird derartig an einen Stab angebunden, dass er keine Krümmungen ausführen kann. Auf die Oberseite einiger Blattstiele und die Mittelrippen ihrer Spreiten werden mit Tusche eine Anzahl Punkte, die in einer Linie liegen, aufgetragen, um das vorbereitete Untersuchungsobject jetzt, nachdem der Erdballen im Topfe durch Sperrhölzchen befestigt worden ist, in umgekehrter Lage im Finstern aufzustellen. Aus verschiedenen Ursachen (Geotropismus, photoepinastische Nachwirkungen) tritt im Laufe einiger Stunden eine nach aufwärts gerichtete Krümmung der Blattstiele ein, aber da die Last der von den Stielen getragenen Spreiten fast niemals gleichmässig zu beiden Seiten der Krümmungsebene vertheilt ist, so kommen Torsionen zu Stande, deren Ausdehnung leicht beurtheilt werden kann, wenn man die nun nicht mehr in gerader Linie stehenden Tuschemarken ins Auge fasst. Diese Torsionen können durch Wachsthumsvorgänge zu bleibenden werden [2]).

---

1) Vgl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 683.

2) Vgl. H. de Vries, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 268, und Sachs, Lehrbuch d. Botanik, 1874, S. 833.

155. Einige spontane Nutationserscheinungen.

Wir legen einige angequollene Samen von Vicia Faba mit nach abwärts gewandter Mikropyle in lockere, feuchte Sägespäne. Untersuchen wir unsere Keimpflanzen genauer, wenn der Keimstengel soeben beginnt zwischen den Cotyledonen herauszutreten, so finden wir, dass sie gerade, senkrecht nach abwärts gerichtete Wurzeln besitzen. Wir befestigen nun einige Viciakeimlinge mit Hülfe von Nadeln im Recipienten (vergl. Fig. 96) und sorgen für Lichtabschluss. Nach Verlauf von 24 Stunden constatiren wir, dass die Wurzeln ihre ursprüngliche senkrechte Richtung, die in Fig. 98 durch eine punktirte Linie angegeben ist, verlassen haben. Die Wurzeln sind in der Weise gekrümmt, wie es Fig. 98 darstellt, eine Erscheinung, die wesentlich durch eine im hypocotylen Gliede und oberen Wurzeltheile stattfindende Krümmung hervorgerufen wird. Das fortwachsende Wurzelende kommt natürlich in Folge der eingetretenen Nutation schief gegen die Verticale zu liegen und sucht sich daher vermöge seiner geotropischen Reizbarkeit in einem Bogen nach abwärts zu wenden. Aehnlich wie die Keimpflanzen von Vicia verhalten sich in der hier in Rede stehenden Hinsicht diejenigen verschiedener anderer Papilionaceen, und es ist noch zu bemerken, dass die Wurzeln die erwähnte Nutation nicht nur in feuchter Luft, sondern auch, obgleich in schwächerem Grade, ausführen, wenn sie sich in lockerer Erde oder Sägespänen entwickeln. Bezeichnet man bei den Keimpflanzen der Papilionaceen diejenige Seite als hintere (vergl. Fig. 98 *H*), auf welcher die Convexität des Keimstengels liegt, die entgegengesetzte, nach welcher sich unsere Wurzeln stets hinwenden, als vordere (*V*), so fällt die Medianebene der Keimpflanzen genau mit derjenigen Ebene zusammen, in der sich die beiden Cotyledonen berühren. Die Thatsache, dass die aus der Nutation des Hypocotyls und der Wurzelbasis resultirenden Wurzelkrümmungen stets in den Medianebenen der Keimlinge erfolgen, ist bei Untersuchungen über das Verhalten der Wurzeln in horizontaler Lage aus leicht verständlichen Gründen wohl zu beachten. Man muss den Viciakeimlingen z. B. auf einer horizontalen Unterlage eine solche Stellung geben, dass sie dieser Unterlage mit ihrer rechten oder linken Flanke, also mit der Aussenfläche einer ihrer Cotyledonen, aufliegen [1]).

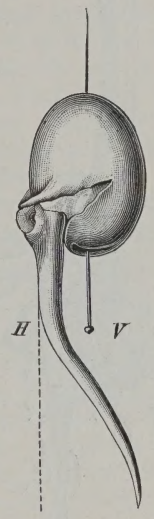


Fig. 98. Keimpflanze von Vicia Faba.

Interessante Nutationserscheinungen sind ferner an den ersten Stengelgliedern vieler Dicotyledonen zu beobachten, und wir wollen uns etwas genauer mit denselben bekannt machen, indem wir Phaseolus multiflorus als Untersuchungsobject wählen. Wenn wir einen im Wasser zur Quellung gebrachten Samen durchschneiden, so beobachten wir an der Spitze des zwischen den Cotyledonen liegenden Stengeltheiles des Embryos eine ziemlich starke Krümmung. Bei der Keimung der Samen wird diese Krümmung noch erheblicher, so dass die Endknospe

1) Vergl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 402.

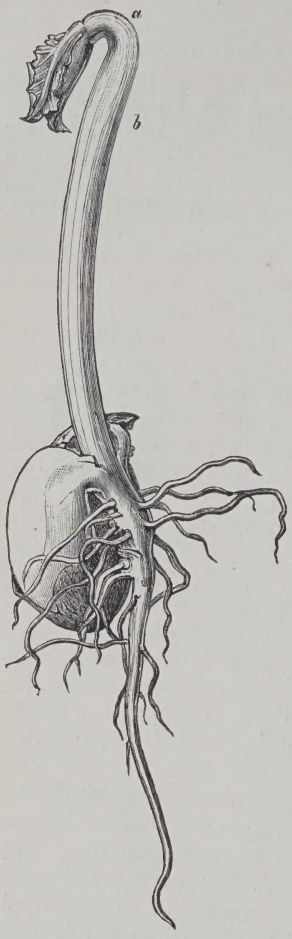


Fig. 99. Keimpflanze von Phaseolus multiflorus.

in völlig nickendem Zustande aus dem Boden hervortritt. Die Convexität der Krümmung liegt jetzt und auch später auf der von den Cotyledonen abgewandten, also hinteren Seite des Epicotyls, und die Nutationserscheinung kommt durch ein beschleunigtes Wachsthum eben dieser hinteren Seite zu Stande. (Vergl. Fig. 99. Bei *a* liegt die Convexität der Krümmung). Entwickeln sich unsere Phaseoluspflanzen dauernd im Finstern, so bleibt die Nutation am oberen Ende des Keimstengels lange bestehen; nur in den letzten Keimungsstadien richtet sich die Endknospe senkrecht empor. Dies geschieht dagegen sehr schnell, wenn man junge Keimlinge, deren Endknospe z. B. eben den Boden durchbrochen hat, dem Einfluss hellen diffusen Tageslichts aussetzt. Die Krümmung des Epicotyls gleicht sich dann alsbald völlig aus.

Wenn man an derjenigen Stelle eines nutirenden Epicotyls von Phaseolus, welche die stärkste Krümmung zeigt (Fig. 99 bei *a*), einen Tuschestrich als Marke anbringt, so findet man diese Marke nach 24 oder 48 Stunden, während welcher Zeit das Untersuchungsobject natürlich im Dunkeln verweilen muss, bei *b* wieder. Daraus erhellt, dass die ursprünglich nutirenden Theile des Epicotyls sich in Folge ihres Wachsthums allmählich gerade strecken. Die Nutation geht aber auf die neu entstandenen Stengeltheile über.

Der Winkel, welcher von dem nutirenden Theil des Phaseolusepicotyls gebildet wird, beträgt gewöhnlich 180°, d. h. also, die Endknospe des aufwärts wachsenden Stengels ist senkrecht abwärts gerichtet. Bei genauerer Beobachtung zumal recht lebhaft wachsender Phaseoluskeimlinge findet man aber, dass jener Winkel nicht immer derselbe bleibt. Ist er an einem Tage = 180°, so kann er am folgenden z. B. = 90°, am dritten = 145° sein[1]).

1) Vergl. Wortmann, Botan. Zeitung, 1882, No. 52.

II. Die nothwendigen Wachsthumsbedingungen und die Beeinflussung der Zuwachsbewegung durch äussere Verhältnisse.

156. Das Stoffbedürfniss wachsender Pflanzentheile.

Das Wachsthum eines Pflanzentheils kann nur dann in normaler Weise erfolgen, wenn die erforderlichen Stoffe und Kräfte für das Wachsthum der einzelnen Zellen disponibel sind. Entwickeln sich z. B. Keimlinge bei völligem Lichtabschluss, so hört das Wachsthum der Keimtheile auf, wenn der Reservestoffvorrath der Samen erschöpft ist. Es ist lehrreich, sich etwas specieller über die Beziehungen zwischen der Energie, mit der das Wachsthum erfolgt, und dem Vorrath an Reservestoffen zu unterrichten. Zu dem Zweck pflanzen wir Samen von Phaseolus multiflorus in Gartenerde ein, die sich in Blumentöpfen befindet. Ein Topf wird mit möglichst grossen Samen beschickt; ein zweiter mit ebensolchen, von denen wir aber, wenn die Keimung eben begonnen hat und die Hauptwurzel aus der Samenschale hervorgebrochen ist, je einen der beiden Cotyledonen entfernen. In einen dritten Topf säen wir kleine Phaseolussamen ein. Die Keimung erfolgt im Dunkeln oder bei Lichtzutritt. Wir finden, dass sich die aus grossen Samen erwachsenden Pflanzen kräftiger entwickeln als diejenigen, welche aus den kleinen oder jenen hervorgehen, von welchen wir einen der Cotyledonen abgeschnitten haben. Bei meinen Versuchen, die bei Lichtzutritt ausgeführt wurden, zeigten sich zunächst keine sehr auffallenden Differenzen im Aussehen der Untersuchungsobjecte. Dies trat erst ein, als sich das erste gedreite Blatt entfaltet hatte und das dritte Internodium in lebhafter Streckung begriffen war. Die aus grossen Samen hervorgegangenen Pflanzen besassen erheblich grössere Blätter und längere Internodien als jene, welche sich aus kleinen oder eines ihrer Cotyledonen beraubten Samen entwickelten. Messungen zur Bestimmung der Dimensionsverhältnisse der einzelnen Theile der Versuchspflanzen sind leicht vorzunehmen. Der Reservestoffvorrath der Bohnensamen ist ein sehr grosser, so dass die ersten Stadien der Keimung bei meinen Experimenten in allen Fällen normal durchlaufen werden konnten. Später machte sich dann, trotzdem die assimilatorische Thätigkeit der Untersuchungsobjecte nicht ausgeschlossen war, ein wesentlicher Unterschied im Wachsthum der Pflanzen geltend, und derselbe liess sich der Hauptsache nach nur auf den mehr oder minder bedeutenden Vorrath an Reservestoffen in den Cotyledonen der Samen zurückführen.

157. Der Wassergehalt der Pflanzen und das Wachsthum.

Normales Wachsthum der Pflanzenzellen ist nur dann möglich, wenn dieselben hinreichende Wassermengen enthalten. Diese Thatsache ist unter Berücksichtigung verschiedener Verhältnisse leicht verständlich. Hier sei nur darauf hingewiesen, dass ein ausgiebiges Wachsthum eine energische Turgorausdehnung der Zellen zur Voraussetzung hat, welche ihrerseits nur bei reichlichem Wassergehalt der Gewebe möglich ist.

Sinkt die Turgorausdehnung der Zellen, indem sie Wasser verlieren, so vermindert sich zugleich auch ihre Wachsthumsenergie. Wir bringen Mais-, Erbsen- oder Bohnensamen in Sägespänen zur Keimung. Haben die Wurzeln einige Ctm. Länge erreicht, so bringen wir auf ihnen 2 Ctm. entfernt von ihrer Spitze feine Tuschestriche als Marken an und befestigen die Keimpflanzen in der Weise, wie es unter 152 angegeben ist, mit Nadeln in geeigneten Glascylindern. Diese letzteren füllen wir mit verschiedenen Flüssigkeiten an; einen mit Brunnenwasser, einen zweiten mit einer 0,5-, einen dritten mit einer 1,0-, einen vierten mit einer 2,0procentigen Kalisalpeterlösung. Die Wurzeln müssen senkrecht in die Flüssigkeiten hineinragen. Nach Verlauf von 24 oder 48 Stunden stellen wir die Zuwachse, welche die Wurzeln erfahren haben, fest. Jeder einzelne Versuch wird, um zu Mittelwerthen zu gelangen, mit 3 oder 4 Keimpflanzen durchgeführt. Es ergiebt sich, dass die Wurzeln in Contact mit Brunnenwasser am lebhaftesten wachsen. Mit zunehmender Concentration der Salpeterlösung wird ihr Wachsthum aber geringer, weil die Salzlösungen den Zellen Wasser zu entziehen vermögen und dadurch deren Turgorausdehnung herabsetzen. In Berührung mit ziemlich concentrirten Salpeterlösungen (z. B. mit 10procentigen) wachsen die Wurzeln gar nicht. Sie verkürzen sich vielmehr, indem sie in den plasmolytischen Zustand übergehen [1]).

158. Die Athmung und das Wachsthum.

Es giebt, wie bereits unter 108 hervorgehoben worden ist, einige Pflanzen, die auch bei völligem Ausschluss des freien Sauerstoffes zu wachsen vermögen. Die meisten Pflanzen sind aber nur zum Wachsthum befähigt, wenn ihnen freier Sauerstoff zur Disposition steht. Diese Thatsache lässt sich leicht in folgender Weise constatiren [2]). Zwei retortenartige Gefässe von ca. 90 Ccm. Capacität (vgl. Fig. 9) werden mit ausgekochtem und bei Luftabschluss wieder völlig abgekühltem, destillirtem Wasser angefüllt. In jedes Gefäss bringt man einige lufttrockene Weizenkörner oder Erbsensamen und taucht die Mündungen der Gefässe unter Quecksilber. Nach 24 Stunden, wenn die Samen gequollen sind, verdrängt man das Wasser des einen Gefässes bis auf einen ganz kleinen Rest durch atmosphärische Luft, dasjenige des anderen durch reines Wasserstoffgas. Diesen entwickelt man aus arsenfreiem Zink durch Uebergiessen desselben mit verdünnter Schwefelsäure und leitet ihn zur Befreiung von etwa vorhandenem Schwefelwasserstoff oder Kohlenwasserstoffen durch wässerige Lösungen von salpetersaurem Silberoxyd und übermangansaurem Kali. In Contact mit der Luft keimen die Samen alsbald; in Wasserstoff tritt keine Keimung ein. Haben die Samen keine zu lange Zeit (etwa nur 2 bis 3 Tage) im Wasserstoff verweilt, so keimen sie aber, wenn man sie nachträglich normalen Keimungsbedingungen aussetzt. Es ist ferner lehrreich, Keimlinge (z. B. solche von Pisum), die bereits Wurzeln von einigen Ctm. Länge besitzen, in mit luftfreiem Wasser angefüllte und durch Quecksilber abgesperrte Gefässe zu bringen, um das Wasser in

1) Vgl. H. de Vries, Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, Halle 1877, S. 56.

2) Vgl. Detmer, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 11, S. 225.

dem einen Apparat durch Luft, im anderen dagegen durch Wasserstoff zu verdrängen. Die Wurzeln der Keimlinge wachsen in der Luft weiter, im Wasserstoff aber gar nicht, wovon man sich leicht durch Messungen überzeugen kann.

Mit Hülfe der angegebenen Methode ist auch der Nachweis zu führen, dass die Keimung der Samen noch in einem recht sauerstoffarmen Gasgemisch (welches z. B. aus atmosphärischer Luft und mehr oder minder grossen Wasserstoffquantitäten besteht) möglich ist.

Dem reinen Sauerstoff gegenüber scheinen sich die Samen verschiedener Pflanzenspecies bei der Keimung nicht gleichartig zu verhalten [1]). Ich fand, dass Weizenkörner im reinen Sauerstoff ebenso schnell wie in atmosphärischer Luft keimen. Den erforderlichen Sauerstoff entwickelt man in einer Retorte aus einem Gemisch von chlorsaurem Kali und Braunstein, leitet ihn zur Reinigung durch Kalilauge und fängt ihn in den Gefässen, welche in der angegebenen Weise mit luftfreiem Wasser und den Samen beschickt worden sind, auf [2]).

159. Die Beeinflussung des Wachsthums durch Druck und Dehnung.

Aus der Theorie des Wachsthumsprocesses ergiebt sich ohne Weiteres, dass Druckkräfte, deren Wirkung auf die turgescirenden Zellen in einer Compression der gespannten Zellentheile (Hyaloplasma und Zellmembran) besteht, eine Verlangsamung des Wachsthums herbeiführen müssen. Umgekehrt wird eine Dehnung der nämlichen Zellentheile Wachsthumsbeschleunigung zur Folge haben. Ebenso sind Druckkräfte und dehnende Kräfte nicht ohne Einfluss auf die Richtung des ausgiebigsten Wachsthums.

Wenn man die Gestalt der Epidermiszellen der langen Blätter vieler monocotyler Pflanzen ins Auge fasst, so findet man, dass diese Zellen sehr langgestreckt sind. Diese Erscheinung hat ihren Grund wohl wesentlich darin, dass die Epidermiszellen der erwähnten Organe durch die Gewebespannung hauptsächlich in longitudinaler Richtung gezerrt werden. Wenn wir ein kleines Epidermisstückchen des Blattes von Syringa oder anderer Dicotyledonen untersuchen, so ergiebt sich, dass die Epidermiszellen die Gestalt polygonaler Tafeln besitzen, eine Erscheinung, die sicher mit der nach zwei Richtungen hin in nahezu derselben Weise erfolgenden Flächenentwickelung der Blätter im Zusammenhang steht.

Wir stellen Querschnitte durch einen etwa 5 Mm. dicken Zweig von Tilia parvifolia her. Das Bild, welches sich uns bei mikroskopischer Untersuchung darstellt, ist schon unter 39 beschrieben worden. An dieser Stelle hat wesentlich nur der Holzkörper der Gefässbündel für uns Interesse. Wir sehen, dass mehrere Jahresringe vorhanden sind. Das Frühlingsholz geht ganz allmählich in das Herbstholz des nämlichen Jahresringes über, während das Frühlingsholz des nächsten

---

1) Die ältere Literatur ist in meiner vergleichenden Physiologie d. Keimungsprocesses der Samen, 1880, S. 272, zusammengestellt.

2) Specielleres vgl. bei Wieler und Johannsen in Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, S. 216 und 715.

Jahresringes ganz scharf gegen das Herbstholz des vorjährigen abgesetzt ist. Für das Frühlingsholz ist namentlich das Vorhandensein weiter Gefässe charakteristisch. Weiterhin verschwinden diese mehr und mehr. Das Herbstholz besteht nur aus englumigen Elementen.

Sachs hat schon vor längerer Zeit auf einen Zusammenhang zwischen dem verschiedenartigen Bau des Frühlings- sowie Herbstholzes einerseits und den im Laufe einer Vegetationsperiode zur Geltung kommenden Schwankungen der Intensität der Querspannung andererseits hingewiesen. Im Frühling wird die Rinde offenbar weniger gespannt als später, wenn die Holzentwickelung weitere Fortschritte gemacht hat. Im Frühling ist daher der Druck, welchen das Holz erleidet, geringer als später, und in diesen Umständen ist vor allem die Ursache der Erscheinung zu suchen, dass die aus den Cambiumzellen bei Beginn der Vegetationsperiode entstehenden Holzelemente weitlumig sind, während ferner, zumal gegen den Herbst hin, nur englumige Elemente entstehen.

Wir wollen sehen, in welcher Weise Drucksteigerung und Druckverminderung, denen wir in die Dicke wachsende Pflanzentheile künstlich aussetzen, auf dieselben einwirken. Als Untersuchungsobjecte dienen 2—3jährige Aeste verschiedener Sträucher oder Bäume. Druckerhöhung erzielt man, indem man Anfang April um eine einige Ctm. lange Strecke der Aeste einen nicht zu dicken Bindfaden in einer Schraubenlinie windet. Die einzelnen Umgänge der Schraube müssen einander möglichst eng berühren, und die Ligatur wird fest angezogen. Druckverminderung bewirkt man, indem man auf einer etwa 3 Ctm. langen Strecke das Rinden- und Bastgewebe 3jähriger Aeste durch 6 radiale Einschnitte, die in gleichen Entfernungen von einander angebracht werden, spaltet. Prüft man die Untersuchungsobjecte im August, so ergiebt sich, dass der Durchmesser der Aeste unter den Ligaturen von Bindfaden ein erheblich geringerer ist, als oberhalb und unterhalb der Ligaturen, während die Druckverminderung andererseits eine nicht unwesentliche Steigerung des Dickenwachsthums an den betreffenden Versuchsstellen der Aeste hervorgerufen hat. Zu Experimenten über den Einfluss gesteigerten Druckes auf das Dickenwachsthum von Zweigen verwandte ich mit sehr gutem Erfolg Salix cinerea als Versuchspflanze. Die Ligatur wurde Anfang April angelegt und Anfang August entfernt. Die Versuchsstelle unter der Ligatur war bei Abschluss des Versuches viel dünner als die Asttheile ober- und unterhalb derselben [1]).

160. Die Beeinflussung des Wachsthums durch die Temperaturverhältnisse.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das Wachsthum aller Pflanzentheile bei verschiedenen Temperaturen durchaus nicht mit der nämlichen Geschwindigkeit verläuft. Wachsthumsvorgänge machen sich nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen geltend; bei gewissen niederen und höheren Temperaturen erlischt das Wachsthum aber vollkommen,

1) Eingehende Untersuchungen über den anatomischen Bau des Holzes, das bei künstlicher Erhöhung oder Verminderung des Druckes entsteht, sind von H. de Vries ausgeführt worden. Vgl. Flora, 1872, No. 16, und 1875, No. 7.

und um diese Thatsache zunächst wenigstens für niedere Wärmegrade festzustellen, führen wir das folgende Experiment aus. Ein wohl entwickelter Erbsenkeimling, den wir so lange in lockeren, feuchten Sägespänen cultivirt haben, bis seine Hauptwurzel eine Länge von 3—4 Ctm. erreicht hat, wird mit etwas feuchter Watte in den in Fig. 97 abgebildeten Apparat gebracht. Ich fand z. B., dass die Wurzel in 8 Stunden bei 20° C. einen Zuwachs von 5 Mm. erfuhr. Als ich die Vorrichtung nun 22 Stunden lang in einem ungeheizten Zimmer bei 1—2° C. stehen liess, konnte nach Verlauf dieser Zeit kein merklicher Zuwachs festgestellt werden. Ein solcher (10 Mm.) war aber zu constatiren, nachdem der Apparat fernere 18 Stunden lang in einem Raume, in welchem eine Temperatur von 15° C. herrschte, verweilt hatte.

Genaue Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Wärmegrade auf die Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanzen sind mit vieler Mühe verbunden, aber trotzdem müssen wir versuchen, uns mit den wichtigen bezüglichen Verhältnissen bekannt zu machen. Als Untersuchungsmaterial benutzen wir Keimpflanzen. Die Samen, aus denen dieselben erzogen werden sollen, müssen sorgfältig ausgewählt werden. Wir verwenden nur gleichförmig und wohl entwickelte, völlig ausgereifte Individuen. Man wird finden, dass dieselben bei günstigen Temperaturverhältnissen (etwa 20—25° C.) gut keimen; dagegen bemerkt man auch bald, dass die Keimfähigkeit derselben Samen bei relativ hohen oder relativ niedrigen Wärmegraden keine so vollkommene mehr ist. Die Samen (wir experimentiren mit Pisum, Phaseolus, Zea, Cucurbita etc.) werden zunächst 24 Stunden lang in Wasser gelegt, um sie in einen völlig gequollenen Zustand zu versetzen. Dann bringen wir sie in einer derartigen Lage in feuchte Gartenerde, dass die hervorbrechenden Hauptwurzeln, ohne erhebliche Krümmungen ausführen zu müssen, gerade nach abwärts wachsen können. Diese Erde ist die humusreiche Gartenerde, wie sie bei der Cultur von Gewächshauspflanzen Verwendung findet. Sie wird vor dem Gebrauch so weit angefeuchtet, dass sie sich eben noch zwischen den Händen zu einer feinkrümeligen Masse zerreiben lässt, dann durch ein Sieb mit Oeffnungen von 1,5 Mm. geworfen und in grosse Blumentöpfe locker eingefüllt. Die in angemessener Entfernung von einander in das Keimbett eingelegten gequollenen Samen bedeckt man schliesslich mit Erde und sorgt besonders dafür, dass sämmtliche Untersuchungsobjecte möglichst genau die nämliche Tieflage erhalten. Jeder Blumentopf wird mit einem Thermometer versehen, welches die Temperatur derjenigen Bodenschicht anzeigt, in der die keimenden Samen ruhen. Auch auf Ersatz des verdunstenden Wassers ist zu achten. Die Gefässe, in denen die Samen zum Quellen gebracht werden, müssen von Anfang an ebenso wie auch die mit den gequollenen Samen beschickten Blumentöpfe denjenigen Temperaturverhältnissen exponirt werden, deren Einwirkung auf das Wachsthum wir zu constatiren wünschen. Wollen wir bei Temperaturen von 25, 30, 35, 40 oder 45° C. experimentiren, so sind wir gezwungen, die Culturgefässe in Thermostaten zu stellen, in denen die gewünschte Temperatur constant erhalten werden kann. Wir benutzen z. B. den in Fig. 62 abgebildeten Apparat, nur sorgen wir dafür, dass die Glasglocke auf einer Hakenvorrichtung ruht, damit der Luftwechsel im Innern des Apparates ein hinreichend ausgiebiger sei. Beobachtungen bei 5, 10, 15, 20° C. wird man oft am zweckmässigsten ohne Thermostaten in geeigneten, ungeheizten oder durch gute Reguliröfen erwärmten Localitäten (im Sommer

z. B. in nach Norden gelegenen Zimmern oder in Kellern) ausführen. Es dürfen aber im Laufe von 24 Stunden keine irgendwie erheblichen Temperaturschwankungen vorkommen; darauf ist besonders zu achten, und es muss der Temperaturzustand des Mediums, in welchem die keimenden Samen liegen, daher täglich mehrfach controlirt werden.

Dasselbe muss natürlich auch bei Benutzung von Thermostaten geschehen. Die Resultate aller Temperaturablesungen sind zu notiren, um das Temperaturmittel berechnen zu können.

Jeder Versuch wird über 48—72 Stunden oder über eine noch längere Zeit ausgedehnt. Er beginnt mit dem Momente des Einquellens der Samen. Nach Verlauf der angegebenen Zeit nimmt man die Keimpflanzen aus dem Boden heraus, bestimmt durch Messung die Länge ihrer Wurzeln und gewinnt auf diesem Wege Zahlen, aus denen sich leicht ein Mittelwerth für die Länge, welche eine Wurzel im Laufe bestimmter Zeit bei bestimmter Temperatur erreicht hat, ableiten lässt. Bei 25° C. kann z. B. die Hauptwurzel von Zea Mays in 48 Stunden eine Länge von 30 Mm. erreichen. Bei 34° C. kann in 48 Stunden eine Wurzellänge von über 50 Mm. erzielt werden, während eine Temperatur von 42° C. das Wachsthum der Wurzel von Zea bedeutend beeinträchtigt. Auch bei einer Temperatur von 15° C. wächst die Wurzel nur langsam und erreicht daher selbst in 96 Stunden noch keine erhebliche Länge.

Das Wachsthum der Pflanzenzellen beginnt bei einer gewissen niedrigen Temperatur (dem Temperaturminimum), es nimmt bis zu einem bestimmten Temperaturgrade (dem Temperaturoptimum) an Geschwindigkeit zu, um mit noch mehr steigender Temperatur wieder langsamer zu werden. Den höchsten Temperaturgrad, bei dem überhaupt noch Wachsthum stattfindet, bezeichnet man als Temperaturmaximum. Die Lage der Temperaturminima, Optima und Maxima ist für das Wachsthum verschiedener Pflanzentheile übrigens nicht die gleiche, eine Thatsache, die sich z. B. mit Bezug auf das Temperaturminimum auch darin ausprägt, wie unschwer festzustellen ist, dass manche Samen bei Temperaturen noch gar nicht keimen, durch welche die Evolution der Keimtheile anderer Samen bereits ermöglicht wird. Die Samen von Cucurbita keimen selbst im Verlauf langer Zeit bei 12° C. nicht, während die Weizenkörner sowie die Samen von Phaseolus multiflorus bei dieser Temperatur keimen können [1]).

In der folgenden Tabelle ist die Lage der Cardinalpunkte für die Keimungstemperatur einiger Samen angegeben:

	Temperatur-minimum in ° C.	optimum in ° C.	maximum in ° C.
Triticum vulgare	5,0	28,7	42,5
Phaseolus multiflorus	9,5	33,7	46,2
Pisum sativum	6,7	26,6	—
Zea Mays	9,5	33,7	46,2
Cucurbita Pepo	13,7	33,7	46,2

1) Literatur: Sachs in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissenschaftl. Botanik, B. 2; Fr. Haberlandt in wissenschaftl.-praktischen Untersuchungen auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues, und Detmer, vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses der Samen, 1880.

161. Die Jahresperiode der Pflanzen.

Bei zahlreichen Gewächsen wird der allgemeine Gang ihrer Entwickelung durch Ruheperioden unterbrochen, denen ihre Organe zu bestimmten Zeiten unterliegen. Die meisten bei uns einheimischen Bäume und Sträucher werfen ja im Herbst ihre Blätter ab, und die vorgebildeten Knospen überdauern den Winter in einem Ruhezustande, um sich erst im nächsten Frühjahre zu entfalten. Ohne Zweifel haben wir es hier mit einem ursprünglich durch den Wechsel der Jahreszeiten inducirten Phänomen zu thun, das aber in derjenigen Form, in welcher es uns heute entgegentritt, keineswegs mehr eine unmittelbare Abhängigkeit von äusseren Factoren erkennen lässt. Wenn nämlich auf ein Pflanzenindividuum oder auf Generationen von Individuen stets dieselben äusseren Umstände in einem bestimmten Wechsel einwirken, so erlangen die Pflanzen dadurch in Folge von Nachwirkungen specifische Eigenschaften, die sogar erblich werden können, und diese Eigenschaften erscheinen dann oft in einem so hohen Grade fixirt, dass sie es in erster Linie sind, welche das gesammte Verhalten der Gewächse bestimmen. Dieser Umstand muss namentlich Berücksichtigung finden, wenn es sich um Beantwortung der Frage handelt, weshalb die Winterknospen unserer Bäume und Sträucher nicht stets alsbald austreiben, wenn man sie unter geeigneten Umständen im Winter höherer Temperatur aussetzt. Die Ruheperiode der Knospen ist freilich anfänglich durch den Wechsel der Jahreszeiten inducirt, aber sie ist schliesslich in angegebener Weise zu einer specifischen Eigenthümlichkeit der Pflanzen geworden, die sich erst im Laufe langer Zeit wieder beseitigen lässt.

Wenn man z. B., wie ich es gethan habe, Aeste von Pavia, die mehrere Zweige und gesunde Knospen tragen, Mitte Januar abschneidet, in Wasser stellt und sich nun in einem Warmhause bei etwa 20° C. selbst überlässt, so entfalten sich die Knospen doch erst Mitte März völlig. Als ich Paviaäste aber Ende Februar ins Warmhaus stellte, entfalteten sich die Knospen schon nach 4 Wochen. Man kann nun mit Rücksicht auf das oben Hervorgehobene sagen, dass die specifische Eigenthümlichkeit der Winterknospen darin besteht, während ihrer Ruheperiode gewisse Veränderungen zu erfahren, die schliesslich ihr Austreiben ermöglichen. Das Hauptgewicht ist auf das sehr langsame Fortschreiten dieser Veränderungen zu legen, denn darin ist der Grund der so sehr verzögerten Entwickelung der Knospen solcher Zweige zu suchen, die man frühzeitig ins Warmhaus bringt. Allmählich schreiten die Veränderungen in den Knospen so weit fort, dass höhere Temperatur ihre Entfaltung schnell herbeiführt. Uebrigens ist die Energie, mit der die Winterknospen verschiedener Pflanzenarten austreiben, wenn man abgeschnittene Zweige derselben in Wasser stellt und in einen warmen Raum bringt, graduell sehr verschieden. Die Knospen von Weidenzweigen entwickeln sich z. B. recht schnell, ebenso diejenigen von Syringa (ich fand, dass gegen Ende Februar abgeschnittene Zweige im Warmhaus nach kaum 14 Tagen ihre Blätter völlig entfaltet hatten), während die Knospen des Goldregens schon nicht ganz so leicht zur Entfaltung gelangen. Experimente, die man mit verschiedenen Pflanzen zu verschiedenen Zeiten des Winters anstellt, liefern hier in mancher Hinsicht interessante Resultate. Man braucht die möglichst gross gewählten Aeste oder Zweige dabei nur mit ihrem unteren Ende in Wasser

zu stellen und hat ferner darauf zu achten, dass die Luft, welche die Pflanzen umgiebt, nicht zu trocken ist, weshalb die Versuche im Warmhause gewöhnlich besser als im Zimmer gelingen.

Wenn man im Herbst Kartoffelknollen ins warme Zimmer bringt und dieselben in einem Kasten ruhig liegen lässt, so findet man, dass sie erst um Neujahr zu keimen beginnen. Den Knollen ist also ebenso wie den Knospen eine Ruheperiode eigenthümlich. Müller-Thurgau [1]) hat sich bemüht, die Ursachen dieser Ruheperiode festzustellen, und ich habe mich nach ihm mit derselben Frage beschäftigt [2]). Untersucht man die schon einige Zeit im Zimmer liegenden Kartoffelknollen auf Zucker, indem man eine Knolle auf einem Reibeisen zerreibt, dem Brei etwas Wasser hinzufügt, um die vorhandene Flüssigkeit nach Verlauf einiger Zeit abzufiltriren und mittelst Fehling'scher Lösung zu prüfen, so findet man keine Glycose oder nur Spuren derselben. Bei Beginn der Keimung der Knollen im Januar ist ihr Zuckergehalt ebenfalls noch sehr gering; er wächst aber allmählich beträchtlich. Wenn man im December eine kleine Menge (20 Ccm.) der in angegebener Weise aus Kartoffelknollen gewonnenen Flüssigkeit mit wenig verdünntem Stärkekleister versetzt, so ist das Vorhandensein von Diastase nicht sicher zu constatiren (vgl. Methode unter 112). Im Keimen erheblich fortgeschrittene Kartoffelknollen enthalten aber, wovon ich mich überzeugte, sicher Diastase.

Danach darf man annehmen, dass die Kartoffelknollen im Herbst deshalb nicht sofort keimen, weil sie nicht im Stande sind, Diastasemengen zu bilden, die für eine ergiebige Zuckerproduction hinreichen. Die Zuckermengen, die im Herbst in den Knollen entstehen, reichen freilich hin, die Athmung der Knollen zu unterhalten, aber sie häufen sich nicht merklich im Gewebe an und genügen nicht für das Zustandekommen eines energischen Wachsthums der Knospentheile. Allmählich bildet sich mehr und mehr Diastase in den Knollen; es entstehen grössere Zuckerquantitäten, und die Keimung kann beginnen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Resultate, zu denen man bei dem Studium der Ruheperiode der Kartoffelknollen gelangt ist, von Bedeutung für die Beurtheilung der Frage nach der Ruheperiode der Winterknospen unserer Bäume und Sträucher sind, und es dürfte daher von um so grösserem Interesse sein, noch das folgende von Müller-Thurgau ausgeführte Experiment zu erwähnen.

Wir bringen einige Kartoffelknollen im August unmittelbar nach dem Ausgraben in einen Thermostaten, in welchem eine Temperatur von 0° C. herrscht (vgl. unter 126). Nach etwa 4 Wochen werden die Knollen in lockerer, feucht gehaltener Gartenerde, die sich in Blumentöpfen befindet, bei Lichtabschluss günstigen Keimungsbedingungen ausgesetzt. Die Entwickelung der Knospen beginnt alsbald, während Parallelversuche lehren, dass nicht vorher abgekühlte Knollen keineswegs im Herbst, sondern erst viel später keimen. Man hat die Ruheperiode der Knollen also durch die Abkühlung beseitigt. Unter 126 ist gezeigt worden, dass die Knollen in ihren Geweben bei niederer Temperatur erhebliche Zuckermengen anhäufen, weil bei diesen geringen Wärmegraden die Athmung der Zellen sehr schwach ist. Nach der Abkühlung

1) Vgl. Müller-Thurgau, Landwirthschaftl. Jahrbücher, Bd. 11, S. 813.

2) Vgl. Detmer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung etc., Jena 1884, S. 41.

steht den Knospen also eine ziemlich reichliche Menge plastischen Materials zur Verfügung, und sie können sich daher schnell entwickeln. Im Zusammenhang mit dem Angeführten besitzen nun auch die Resultate einiger Beobachtungen, die ich an Paviazweigen machte, Interesse. Es wurde angeführt, dass Paviazweige, die Mitte Januar abgeschnitten, mit ihrer Basis in Wasser gestellt und ins Warmhaus gebracht worden waren, ihre Knospen Mitte März entfalteten. Als ich Paviazweige Ende October abschnitt und ins Warmhaus brachte, trat die Evolution der Knospen erst nach Mitte März ein. Die relativ schnelle Entfaltung der Knospen solcher Zweige, die erst im Januar ins Warmhaus gelangten, hat vielleicht darin ihren Grund, dass sich in ihren Geweben während ihres Verweilens im Freien in Folge der herrschenden niederen Temperatur Zucker anhäufen konnte. Die schon im October ins Warmhaus gestellten Zweige haben hier auch wohl Zucker gebildet, derselbe wurde aber, solange die Glycoseerzeugung nicht sehr ausgiebig war, für die Zwecke der Athmung verbraucht, so dass sich die Knospen erst im März entfalten konnten. Eingehende Untersuchungen müssen lehren, ob die hier geltend gemachten Anschauungen richtig sind.

162. Das Wachsthum der Pflanzentheile in constanter Finsterniss.

Ein ausgiebiges Wachsthum in constanter Finsterniss können natürlich nur Pflanzentheile erfahren, denen unter diesen Umständen hinreichende Mengen plastischer Stoffe zur Verfügung stehen. Aus diesem Grunde eignen sich zu den nachfolgenden Experimenten vor allem Keimpflanzen, denn in den Reservestoffbehältern der Samen sind ja mehr oder minder grosse Mengen plastischer Stoffe vorhanden. Handelt es sich zunächst ganz im Allgemeinen darum, die Erscheinungen zu constatiren, welche Pflanzen bei ihrem Wachsthum in constanter Finsterniss im Vergleich zu ihrem Wachsthum unter normalen Beleuchtungsverhältnissen erkennen lassen, so legen wir einige angequollene Samen von Pisum, Phaseolus und Cucurbita in mit durchfeuchteter Gartenerde angefüllten grossen Blumentöpfen aus. Einige Töpfe werden am Fenster dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt, andere stehen unmittelbar daneben unter einem grossen, mit schwarzem Papier überzogenen Pappkasten. Man stellt die Experimente zweckmässig in einem Raume an, in welchem die Pflanzen nur von diffusem Licht getroffen werden, denn unter dem Einfluss des directen Sonnenlichtes würde die Luft unter dem Pappkasten leicht eine sehr hohe Temperatur annehmen. Es ergiebt sich bald, dass die Untersuchungsobjecte, die sich im Finstern einer- und unter normalen Beleuchtungsverhältnissen andererseits entwickeln, ein sehr verschiedenartiges Aussehen besitzen. Sehen wir hier von der nicht grünen Farbe der im Dunkeln cultivirten Pflanzen völlig ab, so finden wir z. B. bei Cucurbita, dass das hypocotyle Glied im Dunkeln eine sehr bedeutende Länge erreicht, während es bei den Lichtpflanzen relativ kurz bleibt. Die Cotyledonen der Dunkelpflanzen sind hingegen weder so breit noch so lang wie diejenigen der bei Lichtzutritt cultivirten Untersuchungsobjecte. Durch genauere Messungen (es sind dabei stets mehrere Pflanzen zu berücksichtigen, um brauchbare Mittelwerthe zu erhalten) kann man sich von dieser Thatsache noch specieller überzeugen. In Figur 100 ist der oberirdische Theil einer etiolirten, in

Fig. 100.

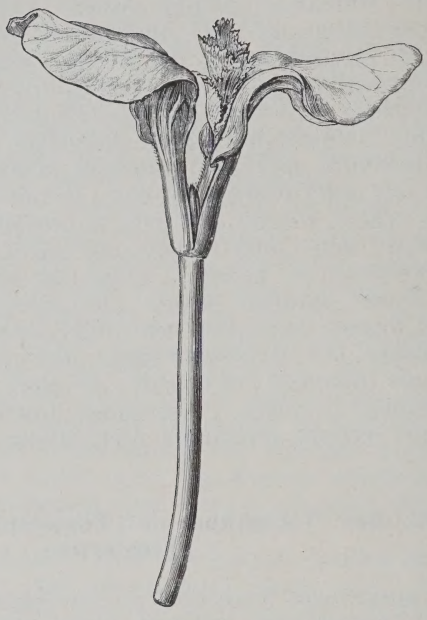


Fig. 101.

Fig. 100. Oberirdischer Theil einer im Dunkeln erwachsenen Keimpflanze von Cucurbita.

Fig. 101. Oberirdischer Theil einer unter normalen Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Cucurbita.

Fig. 101 derjenige einer normalen Cucurbitakeimpflanze dargestellt. Bei der Cultur von Phaseoluskeimlingen im Licht und im Dunkeln (vergl. Fig. 102 und Fig. 103) überzeugt man sich leicht davon, dass das hypocotyle Glied der Untersuchungsobjecte auch im Finstern sehr kurz bleibt, während namentlich das Epicotyl zu viel bedeutenderer Länge als bei Lichtzutritt heranwächst. Die Blattstiele der Primordialblätter werden im Finstern länger als unter normalen Verhältnissen; die Spreiten der Blätter erreichen dagegen nur bei Lichtzutritt ihre normale Form und Grösse. Aehnlich wie die Phaseoluskeimlinge verhalten sich auch Pisum- und Viciakeimpflanzen. Bei Versuchen mit manchen monocotylen Gewächsen (Zea, Triticum) stellt man fest, dass die in constanter Finsterniss erwachsenen Blätter der Keimpflanzen im Vergleich zu gleichalterigen Blättern, die bei Lichtzutritt zur Entwickelung gelangt sind, eine bedeutende Länge, aber geringe Breite erreichen [1]).

Es ist von Interesse, dass nicht allein Pflanzen, welche einerseits bei gewöhnlicher Beleuchtung, andererseits in tiefer Finsterniss cultivirt

1) Vergl. Sachs, Botan. Zeitung, 1863, Beilage.

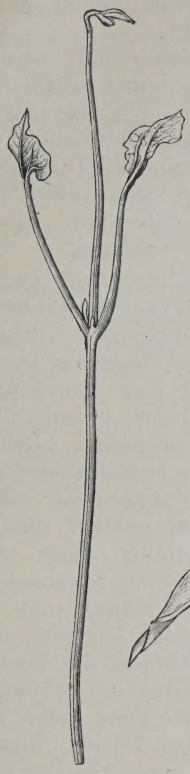


Fig. 102.

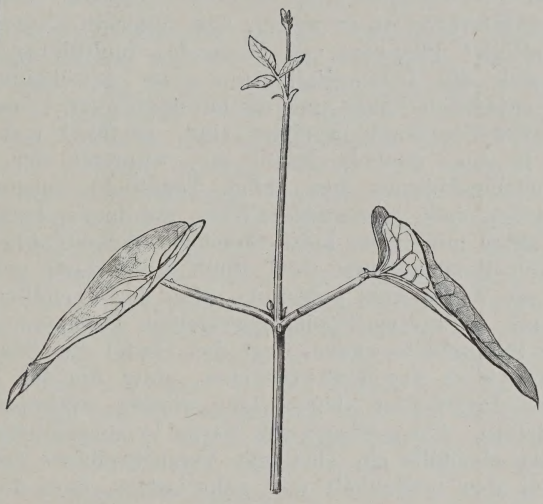


Fig. 103.

Fig. 102. **Oberirdischer Theil einer im Dunkeln erwachsenen Keimpflanze von Phaseolus.**

Fig. 103. **Oberirdischer Theil einer unter normalen Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Phaseolus.**

werden, bedeutende Unterschiede mit Bezug auf ihre gesammte Entwickelung erkennen lassen, sondern dass derartige Differenzen auch schon bei der Cultur von Pflanzen in einem mehr oder minder intensiven Licht klar hervortreten[1]). Ich habe zur Feststellung der bezüglichen Thatsache Holzkästen von 55 Ctm. Höhe und etwa 680 Quadratcentimeter Grundfläche benutzt, in welchen die Culturgefässe mit den Pflanzen standen. Die Kästen waren im Innern geschwärzt. An Stelle ihrer vorderen Wand konnten Glasplatten eingeschoben werden. Den einen Kasten kann man mit einer gewöhnlichen Glasplatte versehen, einen anderen mit einer Milchglasplatte, einen dritten mit zwei, einen vierten mit drei Milchglasplatten. Zum Vergleich werden auch Pflanzen bei völligem Lichtabschluss gezogen. Die Kästen stellt man vor die Fenster eines nach Norden gelegenen Raumes. Bei Culturen mit Bohnen wird man alsbald bemerken, dass die Pflanzen, welche am meisten Licht empfangen, die kürzesten Stengeltheile und grössten Blätter produciren. Mit sinkender

1) Vergl. Detmer, Versuchsstationen, B. 16.

Lichtintensität hinter den Milchglasplatten steigt die Länge der Stengeltheile, während die Grösse der Blätter abnimmt.

Es giebt verschiedene Pflanzen, die im Stande sind, nicht allein zahlreiche Blätter und lange Stengel, sondern auch Blüthen in constanter Finsterniss zur Ausbildung zu bringen. Werden Hyacinthenzwiebeln in sogen. Hyacinthengläsern bei dauerndem und völligem Lichtausschluss zum Austreiben gebracht, so kommen die Untersuchungsobjecte in der That zur Blüthe. Ich überzeugte mich davon, dass die Blüthen, was die Form und Farbe derselben anbelangt, in völliger Dunkelheit eine durchaus normale Entwickelung erfahren.

Von Interesse ist es weiter, das folgende Experiment anzustellen. Man cultivirt Pflanzen von Phaseolus multiflorus in Blumentöpfen. Wenn sich die Primordialblätter unter gewöhnlichen Verhältnissen normal entwickelt haben und die auf das Epicotyl folgenden Internodien in lebhafter Streckung begriffen sind, so führt man den Gipfel einer Pflanze in einen dunkeln Raum ein, während der übrige Theil des Untersuchungsobjectes dem hellen Tageslicht ausgesetzt bleibt. Ein Stativ trägt einen grossen Metallring, auf dem in horizontaler Lage eine in der Mitte mit einem Loch versehene dicke Pappscheibe ruht. Der Gipfel der Bohnenpflanze wird durch dieses Loch geführt und in demselben mit Watte wohl befestigt. Man deckt endlich einen möglichst hohen, mit schwarzem Papier überklebten Pappcylinder, dessen Ränder auf der Pappscheibe ruhen, über den Gipfel der Pflanze und wird im Laufe von 2—3 Tagen wahrnehmen, dass die im Finstern neu entstehenden Internodien abnorm lang werden, während die Blätter sehr klein bleiben. Aus gewissen von Sachs [1]) ausgeführten Untersuchungen, bei denen ebenfalls ein Theil der Versuchspflanze dem Licht exponirt, ein Theil aber verdunkelt war, geht hervor, dass die im Finstern entstehenden Internodien und Blätter eine relativ normale Beschaffenheit annehmen, wenn ein bedeutender Theil der Pflanze (zumal viele Blätter) nicht vom Licht abgeschlossen wird. Es ist namentlich wichtig, dass die sich im Dunkeln entwickelnden Blätter unter solchen Umständen verhältnissmässig gross werden.

163. Die Ursachen der Etiolirungserscheinungen.

Es ist Thatsache, dass zahlreiche Pflanzenarten, wenn sie in völliger Finsterniss zur Entwickelung gelangen, überverlängerte Stengeltheile und kleine Blätter erzeugen. Es fragt sich zunächst, ob die eigenthümliche Formbildung etiolirter Gewächse nicht vielleicht Folge der im Dunkeln ausgeschlossenen assimilatorischen Thätigkeit ihrer Blätter ist. Zur Beantwortung dieser Frage führen wir die folgenden Versuche mit Keimpflanzen von Raphanus sativus aus [2]).

Wir quellen Raphanussamen in Wasser an, legen dieselben dann auf mit verdünnter Nährstofflösung begossenen grobkörnigen Sand, mit welchem zwei kleine Blumentöpfe angefüllt sind, und bringen diese letzteren in Apparate, wie sie unter 16 beschrieben und in Fig. 15 abgebildet wurden. Der eine Apparat wird hellem diffusem Tageslicht ausgesetzt, der andere

1) Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 647.
2) Vergl. Godlewski, Botan. Zeitung, 1879.

wird in unmittelbarer Nähe des ersteren unter einen mit schwarzem Papier überzogenen Pappkasten gestellt. Die Samen keimen bald, und während die sich im Dunkeln entwickelnden Pflänzchen lange hypocotyle Glieder und Cotyledonen von geringer Breite sowie Länge besitzen, zeigen die bei Lichtzutritt erwachsenen und ergrünten Keimlinge ein ganz normales Aussehen. Diese letzteren konnten aber trotz ihres Chlorophyllgehalts nicht assimiliren, da sie von kohlensäurefreier Luft umgeben waren, und somit muss geschlossen werden, dass das Fehlen assimilatorischer Thätigkeit nicht als Ursache der eigenthümlichen Formbildung etiolirter Pflanzen angesehen werden kann.

Für denjenigen, der sich specieller mit den Ursachen der Etiolirungserscheinungen bekannt machen will, ist es von Wichtigkeit, die folgenden Experimente anzustellen. Es werden einige Raphanussamen von möglichst gleicher Grösse ausgewählt. Wir bestimmen das Gewicht jedes einzelnen Samen und benutzen nur solche Samen zum Versuch, die nahezu das nämliche Gewicht besitzen. Nach dem Anquellen legen wir die Samen auf mit Nährstofflösung durchfeuchteten Sand, der sich in kleinen Blumentöpfen befindet. Jeder Topf wird mit 4 oder 6 Samen beschickt. Die eine Cultur wird in angegebener Weise in kohlensäurefreier Luft bei Lichtzutritt, die andere im Finstern vorgenommen. Wenn die Pflanzen nach Verlauf einiger Tage ziemlich weit in der Keimung fortgeschritten sind, heben wir sie sorgfältig aus dem Sande heraus und zerlegen sie in ihre einzelnen Organe. Nicht durchaus normal entwickelte Pflänzchen lassen wir bei Seite. Es genügt für uns, nur das hypocotyle Glied und die Cotyledonen weiter zu berücksichtigen. Wir stellen das Lebendgewicht dieser Organe fest, trocknen sie in kleinen Gläschen bei 100° C. und wägen wieder. Wir gelangen bei sorgfältiger Arbeit zu folgenden Resultaten. Die hypocotylen Glieder der bei Lichtzutritt erwachsenen Pflanzen sind absolut ärmer an Trockensubstanz als diejenigen der im Dunkeln zur Entwickelung gelangten Untersuchungsobjecte. Jene enthalten procentisch weniger Wasser als diese. Die im Licht erwachsenen Cotyledonen sind absolut reicher an Trockensubstanz als die im Dunkeln ausgebildeten. Diese letzteren sind procentisch wasserärmer als jene ersteren [1]).

Es handelt sich nun um die speciellere Beantwortung der Frage, weshalb etiolirte Internodien gewöhnlich beträchtlich länger als normale sind, und weshalb die Blätter bei Lichtmangel meistens bedeutend im Wachsthum zurückbleiben. Mit Bezug auf die Ueberverlängerung etiolirter Internodien ist zunächst darauf hinzuweisen, dass die Membranen der Elemente ihrer Gewebe (Epidermis, Collenchym, Bast, Holz) auf einer frühen Stufe der Entwickelung verharren und nicht ihre normale Dicke erreichen. Diese Thatsache lässt sich z. B. constatiren, wenn man, wie ich es gethan habe, die Ausbildung der Membranen der Holzelemente bei Lichtzutritt erwachsener und etiolirter epicotyler Glieder von Phaseolus mit einander vergleicht. Das Gewebe etiolirter Internodien muss demnach dehnbarer als dasjenige normaler sein, und jede einzelne Zelle etiolirter Stengeltheile wird auch, weil ihre Membranen der Turgorkraft einen relativ nur geringen Widerstand entgegensetzen, lebhafter wachsen können, als die ent-

1) Ich habe schon früher (Versuchsstationen, B. 16, S. 212) gezeigt, dass etiolirte Pflanzen wasserreicher als bei Lichtzutritt erwachsene sind.

sprechenden Zellen unter dem Einfluss des Wechsels von Tag und Nacht ausgebildeter Internodien. Es sei hier auch darauf hingewiesen, was mit dem Gesagten in unmittelbarem Zusammenhang steht, dass, wie KRAUS zuerst nachgewiesen hat, die Intensität der Gewebespannung (Längsspannung) in etiolirten Internodien erheblich geringer als in normalen ist. Man kann sich von dieser Thatsache überzeugen, wenn man nach der unter 147 angegebenen Methode vergleichende Untersuchungen über die Gewebespannung normal ausgebildeter und etiolirter epicotyler Glieder von Phaseolus anstellt. Man prüfe gleichalterige, in lebhaftem Wachsthum befindliche Objecte.

Ein weiterer Grund für das lebhafte Wachsthum etiolirter Internodien scheint nun darin zu liegen, dass in ihren Zellen eine grössere Turgorkraft entwickelt wird als in denjenigen der normalen Organe. Einige Beobachtungen von WIESNER und H. DE VRIES [1]) deuten auf einen relativ hohen Gehalt etiolirter Pflanzentheile an organischen Säuren hin, und da diese Körper eine grosse Bedeutung für das Zustandekommen des Turgors besitzen, so würde es Interesse beanspruchen, den Gegenstand näher zu verfolgen. Geeignete Untersuchungsobjecte würden sich z. B. in den epicotylen Gliedern von Vicia sativa oder Phaseolus darbieten. Es wäre nur erforderlich, den Säuregehalt der bei Lichtabschluss, sowie der bei Lichtzutritt erwachsenen Organe mit einander zu vergleichen (Methode siehe unter 130).

Das lebhafte Wachsthum etiolirter Stengeltheile beruht also auf einer bedeutenden Turgorausdehnung ihrer Zellen. Diese ist ihrerseits Folge einer gesteigerten Turgorkraft des Zellinhalts und zugleich einer relativ geringen Widerstandsfähigkeit der Zellmembranen. Es kann nach dem Gesagten von vornherein angenommen werden, dass die Zellen etiolirter Stengel eine bedeutendere Länge besitzen, als die entsprechenden Zellen normaler Internodien. In der That ist dies der Fall. Ich habe z. B. die Länge der Markzellen aus dem mittleren Theil normaler und etiolirter epicotyler Glieder von Phaseolus mit Hülfe eines Objectivmikrometers bestimmt. Jene waren etwa 0,2 Mm. lang (es ist stets erforderlich, eine ganze Anzahl von Zellen zu messen, um zu brauchbaren Mittelwerthen zu gelangen), diese 2 bis 3mal länger [2]).

Bezüglich der Ursachen, welche es bedingen, dass die Blätter der meisten dicotylen Pflanzen im Dunkeln so sehr klein bleiben, sei nur das Folgende bemerkt. Im Dunkeln können in den Blattzellen diejenigen Processe, welche ein ausgiebiges Flächenwachsthum der Zellhäute vermitteln, nicht zur Geltung kommen. Um welche Vorgänge es sich hier handelt, ist nicht genauer bekannt. Sicher ist nur, dass diese Processe — und somit auch das Flächenwachsthum der Blattzellen — stattfinden können, wenn die Pflanzen von den Lichtstrahlen, sei es auch nur vorübergehend, getroffen werden. Ein Experiment BATALINS, das leicht zu wiederholen ist, zeigt dies deutlich. Wir cultiviren Keimpflanzen von Phaseolus in Blumentöpfen bei Lichtausschluss. Wenn sich die Primordialblätter bis zu einem bestimmten Grade entwickelt haben, suchen wir zwei Pflanzen (*a* und *b*) mit Blättern von möglichst gleicher

1) Vergl. H. DE VRIES, Botan. Zeitung, 1879, S. 852.

2) Vergl. G. KRAUS in PRINGSHEIMS Jahrbücher f. wissenschl. Botanik, B. 8. Neben der Zellüberverlängerung spielt auch noch die Zellübervermehrung eine Rolle bei dem Zustandekommen des Etiolements.

Länge aus und messen die Länge sowie Breite der Blätter. *a* bleibt auch ferner im Finstern. *b* wird im Laufe von 8 Tagen jeden Tag etwa 2 Stunden lang schwachem diffusem Licht ausgesetzt, verweilt sonst aber auch im Finstern. Die Blätter von *b* dürfen nicht ergrünen, daher beleuchten wir sie jeden Tag nur so kurze Zeit lang. Die Blätter von *a* bleiben klein, während hingegen diejenigen von *b* beträchtlich wachsen[1]).

164. Der Einfluss des Lichts auf das Wachsthum.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das Licht einen retardirenden Einfluss auf das Wachsthum der verschiedensten Pflanzentheile geltend macht. Zur Feststellung dieser Thatsache führen wir die folgenden Beobachtungen aus. Eine grössere Anzahl wohl ausgebildeter Erbsensamen wird nach dem Anquellen in einem mit feuchten Sägespänen angefüllten Kasten zur Keimung gebracht. Haben die Hauptwurzeln der Keimlinge eine Länge von 2 Ctm. erreicht, so nehmen wir die Untersuchungsobjecte aus dem Keimbett heraus und bringen 10 Mm. entfernt von der Wurzelspitze in bekannter Weise feine Tuschestriche als Marken an. Es ist mit besonderer Sorgfalt darauf zu achten, dass nur sehr gleichartig und völlig normal entwickelte Keimlinge zur ferneren Untersuchung Verwendung finden. Die weitere Cultur der Pflanzen erfolgt unter Zuhülfenahme von etwa 25 Ctm. hohen und 10 Ctm. weiten Glascylindern, die mittelst eines passenden, mit einer Anzahl von Löchern versehenen Holzdeckels verschlossen werden können und mit Brunnenwasser gefüllt sind. Wir stellen zwei solche Cylinder auf. Jeder wird mit einer nicht zu kleinen Anzahl der Keimlinge (etwa 10—15) beschickt, die man mit Hülfe von etwas Watte in den Löchern der Holzdeckel befestigt, so dass die Wurzeln in das Wasser eintauchen. Die Wurzeln in dem einen Culturgefäss bleiben dem Licht ausgesetzt; es ist zweckmässig, dicht hinter dem Cylinder und parallel mit dem Fenster einen Spiegel aufzustellen oder den Cylinder auf einem Klinostaten langsam rotiren zu lassen, um jede heliotropische Krümmung der Wurzeln auszuschliessen. Der andere Cylinder ist mit schwarzem Papier beklebt, so dass das Licht keinen Zutritt zu den Wurzeln findet. Man stellt die Beobachtungen im Sommer in einem nach Norden gelegenen Zimmer bei möglichst hoher Temperatur an. Von Zeit zu Zeit, z. B. alle 24 Stunden, ermittelt man den Gesammtzuwachs, den sämmtliche Wurzeln in beiden Cylindern erfahren haben, und man wird zu dem Ergebnisse gelangen, dass dieser Zuwachs bei Lichtzutritt geringer als bei Lichtabschluss ausfällt.

Werden Pflanzen bei möglichst constanten Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt, so lässt sich bei Untersuchungen über die Grösse der Zuwachsbewegung ihrer Organe feststellen, dass dieselbe im Allgemeinen vom Abend bis zum Morgen eine Steigerung, vom Morgen bis zum Abend aber eine Verminderung erfährt. Diese tägliche Periode des Wachsthums ist Folge der im Laufe von 24 Stunden wechselnden Beleuchtungsverhältnisse. Am Tage

1) Vergl. Literaturzusammenstellung über das Etiolement bei Detmer, vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses d. Samen, 1880.

wirkt das Licht retardirend auf das Wachsthum ein; die Dunkelheit der Nacht beschleunigt den Verlauf der Zuwachsbewegung. Sachs [1]) hat die Thatsache der täglichen Periode des Wachsthums für die Internodien verschiedener Pflanzen unter Benutzung des Auxanometers festgestellt, und Prantl [2]) hat ebenfalls für Blätter das Vorhandensein einer täglichen Periode des Wachsthums constatirt. Die erforderlichen Untersuchungen sind mit sehr vieler Mühe verbunden. Am einfachsten ist es noch, die Thatsache der täglichen Wachsthumsperiode an Blättern zu constatiren. Man hält dabei die unter 152, Seite 261 angegebene Methode ein. Die Untersuchungsobjecte (Cucurbita- oder Nicotianaexemplare) werden unter Glasglocken in einem nach Norden gelegenen Zimmer dem Wechsel von Tag und Nacht bei möglichst constanter, aber recht hoher Temperatur ausgesetzt. Von Zeit zu Zeit (z. B. alle 3 oder 4 Stunden) misst man die Entfernung zwischen der Marke an der Basis der Blattspreite und der Blattspitze unter Benutzung eines Millimetermaassstabes. Es ergiebt sich namentlich, dass die Zuwachsbewegung in der Nacht grösser als am Tage ausfällt. Wenn am Abend die Dunkelheit eintritt, so wird das Wachsthum der Blätter nicht sofort bedeutend beschleunigt, sondern ganz allmählich, so dass das Maximum des täglichen Zuwachses auf die frühen Morgenstunden fällt. Ebenso drückt der Zutritt des Lichts die Wachsthumsgeschwindigkeit der Blätter nicht sofort auf das Minimum herab; dieses fällt vielmehr erst auf die Stunden des Nachmittags.

165. Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Keimung der Kartoffelknollen.

Wir legen einige Kartoffelknollen im Herbst oder im Laufe des Winters in einen Kasten, den wir mit einer Pappscheibe zudecken, um das Untersuchungsmaterial vor dem Lichtzutritt zu schützen. Andere Knollen bringen wir in einen mit einer Glasplatte bedeckten Kasten. Die Kästen stehen vor dem Fenster eines nach Norden gelegenen geheizten Zimmers. Wasser wird den Knollen entweder gar nicht zugeführt, oder wir legen sie in den Kästen auf feuchten Sand. Im Laufe des Winters keimen die Kartoffeln, aber während die Dunkelknollen ziemlich lange Triebe entwickeln, bleiben diejenigen der Lichtknollen kurz und von gedrungenem Aussehen. Wir können den Versuch bis in den Sommer hinein fortsetzen und constatiren stets, dass die Ausbildung der ersten Internodien der aus den Knollen hervorgehenden Kartoffeltriebe nur im Dunkeln (unter gewöhnlichen Verhältnissen im Boden) in normaler Weise vor sich gehen kann. Zerreiben wir ab und an eine Knolle der Licht- und Dunkelreihe auf einem Reibeisen, um den erhaltenen Brei mit etwas Wasser zu behandeln, und um die abfiltrirte Lösung mit Hülfe Fehling'scher Flüssigkeit auf Zucker zu prüfen, so finden wir in den Dunkelknollen viel Zucker, in den Lichtknollen aber gar keinen. Mit diesem Mangel an geeignetem plastischem Material in den Lichtknollen hängt offenbar das schwächliche Wachsthum ihrer Triebe zusammen. Ich habe die Thatsache, dass bei Lichtzutritt keimende

1) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 99.
2) Vgl. Prantl, ebendaselbst, S. 371.

Kartoffelknollen keinen Zucker enthalten, zuerst constatirt; es müssen aber weitere Untersuchungen über die Ursachen des Glycosemangels angestellt werden [1]).

Beachtenswerth ist noch, dass die dem Einfluss des Lichts ausgesetzten Kartoffelknollen allmählich ergrünen. Untersucht man zarte Querschnitte aus einer ergrünten Knolle mikroskopisch, so findet man dicht unter der Schale Zellen, die Chlorophyllkörper mit Stärkeeinschlüssen enthalten. Diese Chlorophyllkörper gehen unter dem Einfluss des Lichts aus farblosen Stärkebildnern, welche die Kartoffelknollen enthalten, hervor.

---

1) Vgl. Detmer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Processe, Jena 1884, S. 34. Bei meinen Versuchen wurde den Kartoffelknollen gar kein Wasser dargeboten. Das für das Wachsthum der Triebe erforderliche Wasser strömte den Zellen derselben aus dem Knollengewebe zu.

FÜNFTER ABSCHNITT.

Die Reizbewegungen der Pflanzen.

I. Die Reizbewegungen protoplasmatischer Gebilde.

166. Die Bewegungserscheinungen des Protoplasmas.

Als erstes Untersuchungsobject wählen wir Nitella, Algen, die in stehenden, kalkarmen Gewässern ziemlich häufig vorkommen, und zwar benutzen wir zweckmässig jüngere Internodien zur mikroskopischen Beobachtung. Ohne hier näher auf die bekannten Eigenthümlichkeiten der langgestreckten Nitellazellen einzugehen, sei nur bemerkt, dass die Hautschicht oder das Hyaloplasma in denselben besonders mächtig entwickelt ist. Diese Hautschicht und ebenso die derselben anliegenden Chlorophyllkörper sind bewegungslos; dagegen ist in der Körnerschicht des Protoplasmas sehr lebhafte Bewegung wahrzunehmen. Wir haben es hier mit typischer Rotation zu thun, indem ein in sich zurücklaufender Strom vorhanden ist. Durch den Indifferenzstreifen wird der aufsteigende von dem absteigenden Theile des Stromes getrennt.

Wenn wir Blätter aus der Knospe von Elodea canadensis in einen Wassertropfen auf den Objectträger bringen und mikroskopisch untersuchen, so erkennen wir ohne jede Mühe in den Zellen den wandständigen Theil des Protoplasmas, die durch den Zellsaft ausgespannten Protoplasmabänder, den Zellkern sowie die Chlorophyllkörper. Alsbald sieht man auch Bewegungserscheinungen im Protoplasma zu Stande kommen, die leicht an der Ortsveränderung kenntlich sind, welche die Chlorophyllkörper erfahren. Die Protoplasmabewegung in den Blattzellen von Elodea trägt bald mehr den Charakter der Rotation, bald mehr denjenigen der Circulation.

Bei dieser letzteren besitzen die Strömungen, welche sowohl in dem wandständigen Plasma als auch in den Protoplasmasträngen verlaufen können, die mannigfachsten Richtungen; oft sind die Strömungen in einem Bande sogar verschieden gerichtet. Dabei machen sich Massenverschiebungen im Protoplasmakörper geltend; einige Stränge werden dünner, andere verschwinden völlig, oder es entstehen auch neue Stränge etc. etc. Gute Objecte für das Studium der Circulation des Protoplasmas sind z. B. die Staubfadenhaare von Tradescantia (z. B. T. virginica),

die man im Oeffnen begriffenen Blüthen entnimmt, um sie unter Deckglas im Wassertropfen zu untersuchen, und die Haare der jungen Theile von Cucurbitapflanzen.

Ueber die Ursachen, welche das Zustandekommen der Protoplasmabewegungen bedingen, ist noch wenig bekannt. Auf jeden Fall aber greifen eine ganze Reihe verschiedener Processe und wohl in verschiedenen Fällen nicht immer die nämlichen physikalischen sowie chemischen Vorgänge zusammen, wenn sich Protoplasmabewegungen geltend machen. Berthold [1]) hat versucht, die verschiedenen Formen der Bewegung plasmatischer Massen unter Heranziehung derjenigen Bewegungserscheinungen begreiflich zu machen, welche todte Körpertheilchen unter bestimmten Umständen zeigen. Mir scheint dieser Versuch aber keinen besonderen physiologischen Werth zu haben, denn Berthold hat die im Protoplasma gegebenen, concreten Verhältnisse doch wohl zu wenig berücksichtigt.

Immerhin ist es lehrreich, sich von der Thatsache zu überzeugen, welche, abgesehen von vielen anderen Momenten, ohne Zweifel bei Begründung einer zukünftigen Theorie der Protoplasmabewegungen Berücksichtigung finden muss, dass todte Substanzen oft zu Bewegungen befähigt sind, die mit Protoplasmabewegungen eine gewisse äusserliche Aehnlichkeit haben.

Auf eine trockene Glasplatte, die auf einem Bogen weissen Papiers ruht, bringen wir mit Hülfe eines Glasstabes einige Tropfen nicht zu concentrirter alkoholischer Fuchsin- oder Methylanilinviolettlösung. Die Tropfen breiten sich an ihrem Umfange nicht gleichmässig auf der Glasplatte aus, sondern es bilden sich bald hier, bald dort Flüssigkeitsausstülpungen, und man wird unwillkürlich an amöboide Protoplasmabewegungen erinnert. Wir bringen destillirtes Wasser in eine Krystallisirschale und werfen kleine Kampferstückchen in die Flüssigkeit. Die Kampferstückchen gerathen nun, indem sie sich ganz allmählich in dem Wasser auflösen, in sehr lebhafte Bewegung, und ich sah diese letztere oft stundenlang fortdauern.

Von sehr wesentlichem Einfluss auf die Geschwindigkeit der Protoplasmabewegung sind die Temperaturverhältnisse. Bei niederer Temperatur bewegt sich das Protoplasma langsam. Mit steigender Temperatur nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung zu, um nach Ueberschreitung des Temperaturoptimums, welches z. B. nach Velten [2]) für die Protoplasmabewegung in den Blattzellen von Elodea bei 36 ° C. liegt, wieder langsamer zu werden. Lehrreich ist es, sich durch Beobachtung davon zu überzeugen, dass das Plasma bei einer bestimmten Temperatur, die nicht weit von derjenigen entfernt ist, durch welche die Zellen getödtet werden, den Zustand der vorübergehenden Wärmestarre annimmt.

Wir erwärmen Wasser in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade. In das Wasser taucht ein Thermometer ein. Wir ziehen nun einen Epidermisstreifen von den jüngeren Theilen, z. B. einem jungen Blattstiel, eines Exemplars von Cucurbita Pepo ab, constatiren das Vorhandensein der Circulation des Plasmas in den Zellen der Haare, merken uns einige der beobachteten Haare genau und tauchen den Epidermisstreifen, den wir mittelst einer Pincette festhalten, in unmittelbarer Nähe der Thermometerkugel in das erwärmte Wasser ein.

1) Vgl. Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, Leipzig, 1886.
2) Vgl. Velten, Flora, 1876.

Verweilt das Untersuchungsobject zwei Minuten lang in Wasser von 46—47 ° C. oder eine Minute lang in Wasser von 47—48 ° C., so ist, wie die mikroskopische Untersuchung ergiebt, jede Bewegung des Protoplasmas in den Haarzellen sistirt. Das Protoplasma ist in den Zustand der vorübergehenden Wärmestarre übergegangen. Nach Verlauf von 1—2 Stunden macht sich die Protoplasmabewegung aber wieder geltend [1]).

167. Die freien Ortsbewegungen niederer Organismen. (Schwärmerbewegungen etc.).

Es giebt zahlreiche niedere Pflanzen, welche ebenso wie die typischen animalischen Wesen zu freien Ortsbewegungen befähigt sind. Die Mechanik dieser Bewegungen ist noch unklar, weshalb wir auf dieselbe nicht näher eingehen. Dagegen handelt es sich hier um Constatirung der Bewegungserscheinungen selbst und um Feststellung des Einflusses, den äussere Verhältnisse auf dieselben ausüben.

Wir wollen zunächst Euglena viridis in Untersuchung nehmen, einen Organismus, der freilich in morphologischer Hinsicht nicht mit typischen Algen, sondern mit den Infusorien zusammenhängt, aber sich in mehr als einer physiologischen Beziehung den Algen anschliesst. Das Untersuchungsmaterial ist leicht zu erlangen; es findet sich in stehenden Gewässern, Strassenrinnen und Dorflachen. Ich habe das Euglenamaterial, um recht lebenskräftige Individuen zur Untersuchung zu gewinnen, zunächst einige Tage auf Torfstücken cultivirt, die in einer Schale lagen, in welcher sich Nährstofflösung, wie man sie zu Wasserculturversuchen benutzt, befand. Die Torfstücke tauchten etwa bis zu halber Höhe in die Lösung ein, und das grüne Euglenamaterial wurde einfach auf ihre feuchte Oberfläche gebracht. Haben die Culturgefässe einige Tage vor einem nach Süden gelegenen Fenster gestanden, so werden die Torfstücke in eine Porzellanschale gelegt, mit Brunnenwasser übergossen und einige Stunden unter Wasser belassen. In dieser Zeit sammeln sich zahlreiche Euglenaschwärmer in dem Wasser an. Die mikroskopische Untersuchung ergiebt, dass der Körper der Euglena viridis von spindelförmiger Gestalt ist. Kern und Chlorophyllkörper sind vorhanden. Am vorderen Körperende, das eine lange Cilie trägt, sind Vacuolen und ein rother Augenfleck zu sehen. Nach Klebs ist der Euglenaorganismus zeitlebens von einer Membran umgeben, und unter ungünstigen äusseren Bedingungen gehen die Euglenen in einen Dauerzustand über, in welchem sie bewegungslos werden. Die freien Vorwärtsbewegungen der Euglenaschwärmer werden durch die Cilie vermittelt und sind stets mit Rotation des ganzen Körpers verbunden. Um diese Vorwärtsbewegungen genau verfolgen zu können, bringen wir Schwärmer mit Hülfe einer Glasröhre, die wir in das Euglenaindividuen enthaltende Wasser, in welchem unsere Torfstücke gelegen haben, eintauchen, in den hängenden Wassertropfen einer kleinen feuchten Kammer und beobachten mit Hülfe des Mikroskops. (Ueber die Herstellung derselben vergl. unter 137.) Die Schwärmer vermögen sich bei völligem Lichtabschluss zu bewegen, ebenso wie bei Lichtzutritt; indessen ist das Licht von einem richtenden Einfluss auf die Ortsbewegung der Euglena; diese

1) Vgl. Sachs, Flora, 1864, S. 67.

gehört also zu den phototaktischen Organismen. Bei Beginn unseres Experiments sind die Schwärmer ziemlich gleichmässig in dem hängenden Tropfen der feuchten Kammer vertheilt. Es lässt sich aber leicht unter dem Mikroskop feststellen, dass sich fast alle Schwärmer, zumal wenn wir das vom Spiegel reflectirte Licht abblenden, sehr schnell an dem nach dem Fenster, also der Lichtquelle, zugewandten Tropfenrande ansammeln. Drehen wir den Objectträger mit der feuchten Kammer um 180°, so gerathen die Schwärmer wieder in lebhafte Bewegung und suchen aufs Neue den der Lichtquelle zugekehrten Tropfenrand zu erreichen. Diese Erscheinungen beobachtet man aber nur dann, wenn das Licht, welches auf die Schwärmer einwirkt, kein zu intensives ist. Bei hoher Lichtintensität nämlich sammeln sich die meisten Schwärmer nicht am Lichtrande des Tropfens, sondern am gegenüberliegenden Rande desselben an. Sie fliehen also unter diesen Umständen das Licht.

Wird ein flacher Teller mit Wasser gefüllt, in welchem viele Euglenen vorhanden sind, und in die Nähe des Fensters gebracht, so sammeln sich die Schwärmer bei nicht zu intensivem Lichte am Fensterrande des Tellers an. Dreht man den Teller um 180°, dann sind alsbald wieder die meisten Schwärmer am Fensterrande gruppirt. Ich habe mehrfach bei derartigen Experimenten mit Euglena eine so lebhafte Bewegung der Schwärmer zur Lichtquelle beobachtet, dass der richtende Einfluss der Lichtstrahlen auf die Organismen im Laufe einer Stunde mehrfach an demselben Material festgestellt werden konnte.

Unter gewissen Umständen, zumal dann, wenn die freie Vorwärtsbewegung der Schwärmer gehindert ist (z. B. in unserer feuchten Kammer bei Ansammlung der Schwärmer am Lichtrande des Tropfens), verändert sich die Körpergestalt der Schwärmer von Euglena in auffallender Weise (Metabolie). Euglena viridis schwillt mit Vorliebe in der Mitte an und zieht sich an den Enden dünn aus; die Schwärmer anderer Euglenaspecies krümmen sich halbmondförmig.

Geeignetes Untersuchungsmaterial bei Beobachtungen über Schwärmerbewegungen bietet auch Haematococcus lacustris dar, eine Alge, die z. B. bei Jena in der Leutra vorkommt und die Steine, auf denen sie sitzt, schön roth färbt. Wir bringen einige mit Haematococcus besetzte Steine in eine grosse flache Schale, deren Boden nur eben mit Wasser bedeckt ist, legen eine Glasplatte auf die Schale und lassen die Gefässe mehrere Tage ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit werden einige Steine in einem anderen Gefäss mit Wasser übergossen. Wir lassen sie bis zum nächsten Tage im Wasser liegen und finden gewöhnlich, dass dieses nun viele rothe Haematococcusschwärmer enthält. Die Schwärmer sind, ebenso wie diejenigen von Euglena, phototaktisch. Sie bewegen sich bei nicht zu intensivem Licht und günstigen Temperaturverhältnissen (etwa 20° C.) den einfallenden Lichtstrahlen entgegen. Ich habe mich davon überzeugt, dass es wichtig ist, um recht viele Haematococcusschwärmer zu erhalten, die Steine, bevor man sie mit Wasser völlig übergiesst, einige Tage lang in angegebener Weise im dampfgesättigten Raume aufzubewahren [1]).

Von Interesse ist es, dass die Schwärmer mancher Algen in ausgeprägter Weise aerotropisch sind. Diese Erscheinung ist für die Schwärmer von Euglena specieller von Aderhold constatirt worden,

1) Vergl. Strasburger, Wirkung der Wärme und des Lichts auf Schwärmsporen, Jena 1878, und Klebs, Untersuchungen aus dem botan. Institut zu Tübingen, Bd. 1, H. 2.

und wir stellen das folgende Experiment an, um dieselbe kennen zu lernen. Eine kleine Schale wird mit Wasser angefüllt, das sehr zahlreiche Euglenaschwärmer enthält. Ebenso füllen wir ein Probirglas mit diesem Wasser bis zum Rande an, verschliessen die Mündung mit dem Daumen und stellen das Probirglas nunmehr derartig auf, dass sein offenes Ende in das Wasser eintaucht, welches sich in der Schale befindet. Bei Lichtabschluss haben nach Verlauf längerer Zeit fast sämmtliche Schwärmer das Wasser im Probirglase verlassen und sich in dem Wasser der Schale angesammelt. Diese Erscheinung ist keineswegs wesentlich Folge des positiven Geotropismus der Schwärmer oder anderer Ursachen, sondern sie beruht der Hauptsache nach auf dem Aerotropismus der Schwärmer; dieselben suchen an solche Orte zu gelangen, an welchen ihnen reichlichere Sauerstoffmengen zur Verfügung stehen. Dies geht mit aller Deutlichkeit aus den folgenden Beobachtungen hervor. Wenn die Schwärmer das Probirglas verlassen haben, so verdrängen wir etwas Wasser aus demselben durch Luft, breiten auf der Oberfläche der an Schwärmern reichen Flüssigkeit in der Schale eine Oelschicht aus und überlassen den Apparat im Dunkeln sich selbst. Die Schwärmer treten nunmehr in erheblicher Menge aus dem Wasser der Schale in dasjenige des Probirglases über, weil sich ihnen hier reichlichere Sauerstoffmengen darbieten.

Eine weite Verbreitung besitzen in stehenden Gewässern und auf schlammigem Boden meistens blaugrün gefärbte Organismen, die in Form von Fäden auftreten und als Oscillarien bekannt sind. Diese Organismen zeigen verschiedene Bewegungserscheinungen, welche man unter dem Mikroskop näher verfolgen kann. Besonders auffallend sind die unregelmässigen Krümmungen, welche die sich nach vorn- oder rückwärts bewegenden Oscillarienfäden ausführen.

Bei dem Zustandekommen der bisher erwähnten Bewegungsphänomene verhalten sich die niederen Organismen activ. Es müssen hier aber ferner noch einige merkwürdige Erscheinungen Erwähnung finden, die ihre Ursache in rein passiven Bewegungen, denen Schwärmsporen unterliegen, haben.

Wird grün gefärbtes Wasser, welches viele Clamydomonas- oder Euglenaschwärmer enthält, in einen Teller gegossen und dieser nach Bedeckung mit einer Glasplatte in die Mitte eines grossen Zimmers unter einen Papprecipienten gestellt, so findet man nach Verlauf einiger Zeit, dass sich die Algen in Form concentrisch angeordneter Wolken oder in Form anderweitiger regelmässiger Figuren in dem Wasser gruppirt haben. Entfernt man die Glasplatte von dem Teller, dann lösen sich die Figuren schnell auf. Wird ein Teller, in den man algenhaltiges Wasser gegossen hat, derartig (z. B. vor einem Fenster) aufgestellt, dass der eine Tellerrand eine etwas höhere Temperatur als der andere annimmt, dann sammeln sich die Schwärmer (auch bei Lichtabschluss) je nach Umständen an diesem oder jenem Tellerrande an. Nach den Untersuchungen von Sachs [1]) kommen alle diese Phänomene durch Wasserströmungen zu Stande, welche die Schwärmer in bestimmter Weise gruppiren und ihrerseits ihren Grund in Temperaturverhältnissen haben. Diesen Nachweis führte Sachs unter Berücksichtigung derjenigen Ergebnisse, zu denen er bei dem Studium von Emulsionsfiguren gelangte. Die Flüssigkeit, welche dazu dienen soll, uns diese Figuren

1) Vgl. Sachs, Flora, 1876.

zur Anschauung zu bringen, bereiten wir in folgender Weise. Es wird grob zerkleinerte Alkannawurzel mit reinem Baumöl übergossen, und das nach Verlauf von 24 Stunden intensiv roth gefärbte Oel abfiltrirt. Es wird weiter in einem Glascylinder eine Mischung von Wasser und Alkohol hergestellt, deren spec. Gew., wie die Prüfung mit dem Aräometer ergiebt, genau 0,920 beträgt. Diese Flüssigkeit hat fast genau das spec. Gewicht des Baumöls. Wenn man eine kleine Menge der Mischung des Wassers und Alkohols in ein Becherglas giesst und etwas gefärbtes Baumöl hinzufügt, so müssen grössere Oeltropfen sehr langsam in der Flüssigkeit emporsteigen; sie ist also von etwas höherem spec. Gew. als das Oel.

Sind diese Controlversuche angestellt, so bringt man zu je 500 Ccm. des Gemisches von Alkohol und Wasser je 5 Ccm. des rothen Oeles, schüttelt, worauf besonderes Gewicht zu legen ist, sehr kräftig, wobei die grösseren Oeltropfen in Tausende feinster Tröpfchen zertrümmert werden, und hat auf diese Weise die erforderliche Emulsionsflüssigkeit bereitet.

Zum Gebrauch wird sie in flache Porzellanteller gegossen, so dass sie in denselben eine Schicht von etwa 10—15 Mm. Höhe bildet. Man bedeckt den Teller mit einer Glasplatte oder lässt ihn unbedeckt stehen und beobachtet, wie die sich bewegenden Oeltropfen zunächst Tupfen und Netze bilden und sich im Laufe einiger Zeit ($^1/_4$—$^1/_2$ Stunde) zu regelmässigen Figuren gruppiren. Hatte man den Teller nach dem Eingiessen der Emulsionsflüssigkeit mit einer Glasplatte bedeckt, und hebt man diese nach Bildung der Emulsionsfiguren ab, so lösen sich diese letzteren schnell unter den Augen des Beobachters auf.

Die Gestalt der Emulsionsfiguren ist eine sehr mannigfaltige. In Fig. 104 *B* ist eine häufig auftretende Form dargestellt. Solche concentrische Figuren bilden sich aber nur, wenn die Teller, in welche man die Emulsion hineingiesst, in der Mitte des Zimmers stehen. Polarisirte Figuren, wie eine solche in Fig. 104 *A* abgebildet ist, entstehen dagegen, wenn man die Teller in der Nähe eines Fensters oder eines geheizten Ofens aufstellt, und der eine Tellerrand also wärmer als der andere ist. Experimentirt man z. B. mit der erwähnten Emulsion, deren ge-

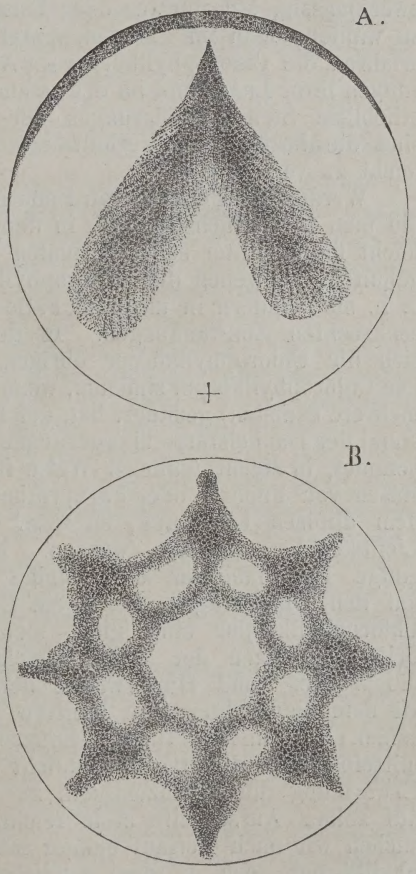


Fig. 104. Emulsionsfiguren. (Nach Sachs.)

färbtes Oel ganz wenig specifisch leichter als das Gemisch von Alkohol und Wasser ist, so sind die Spitze und die Randlinien der polarisirten Figur stets nach dem kälteren Tellerrande hingewandt. Die Entstehung der Emulsionsfiguren ist auf Flüssigkeitsströmungen, die ihrerseits ihren Grund in Temperaturverhältnissen haben, zurückzuführen. Die Emulsionsfiguren selbst haben die grösste Aehnlichkeit mit denjenigen Figuren, welche die Zoosporen unter den schon oben bezeichneten Umständen bilden, und allen diesen Erscheinungen liegen auch die nämlichen ursächlichen Momente zu Grunde.

168. Die Bewegungen der Chlorophyllkörper.

Die Bewegungen der Chlorophyllkörper in den Pflanzenzellen besitzen eine grosse biologische Bedeutung. Wir haben es hier, wie es scheint, nicht mit Eigenbewegungen der Chlorophyllkörper zu thun, sondern die Stellungsänderung, welche dieselben erleiden, wird durch Bewegungen des Protoplasmas vermittelt. Will man sich über die Bewegungen der Chlorophyllkörper genauer orientiren, so ist es besonders zweckmässig, Moosblätter oder Farnprothallien als Untersuchungsobjecte zu wählen, denn im Palissadenparenchym der gewöhnlichen Laubblätter erfahren die Chlorophyllkörper im Allgemeinen nur unbedeutende Aenderungen ihrer Lage, und im Schwammparenchym, in dessen Zellen freilich erhebliche Stellungsänderungen der Chlorophyllkörper eintreten können, sind die bezüglichen Verhältnisse aus mehrfachen Gründen oft nicht leicht zn verfolgen.

Werden die Pflanzen von Funaria hygrometrica oder Farnprothallien, die man in Gewächshäusern, in denen Farne cultivirt werden, ziemlich leicht findet, unter sonst normalen Verhältnissen einige Zeit im Dunkeln gehalten, so gehen die Chlorophyllkörper in die Dunkelstellung über, d. h. sie wandern in unserem Falle auf die zur Fläche unserer Objecte senkrechten Zellwandungen. In den Zellen anderer Objecte verhalten sich die Chlorophyllkörper übrigens nicht genau in derselben Weise. Die Chlorophyllkörper sind nun, wenn die Verdunkelung nicht zu lange (nur mehrere Stunden) gedauert hat, der Inhalt der Zellen also nicht in den Zustand der Dunkelstarre übergegangen ist, sondern sich noch im Phototonus befindet, in eigenthümlicher Weise für Lichtreiz empfindlich. Wir setzen Rasen von Funaria oder Farnprothallien, die im Duukeln verweilt haben, dem diffusen Licht aus, so dass die Pflanzen von oben her von den Lichtstrahlen getroffen werden. Nach einigen Stunden bringen wir einige Funariablätter oder einige Prothallien in den Wassertropfen auf den Objectträger, legen ein Deckglas auf und untersuchen. Die Chlorophyllkörper sind nicht mehr wie in der Dunkelstellung den Seitenwandungen der Zellen angelagert, sondern sie haben sich auf die Vorder- und Hinterwände derselben begeben, und zwar kehren sie dem Beobachter ihre breitere Fläche (Flächenstellung) zu. Nun setzen wir unsere Untersuchungsobjecte auf dem Objectträger unmittelbar dem directen Sonnenlicht aus und sorgen, um eine zu starke Erwärmung der Pflanzentheile zu verhüten, dafür, dass das Deckglas auf seiner Aussenseite stets reichlich mit Wasser benetzt ist. Untersuchen wir nach Verlauf einiger Minuten, so gewahren wir die Chlorophyllkörper noch an dem nämlichen Platze wie bisher, aber ihre Form hat sich geändert. Die vorher polygonal erscheinenden Körner haben

ihre Ecken eingezogen; sie sind rundlich geworden, und es tritt das Bestreben der Chlorophyllkörper deutlich hervor, dem zu intensiven Licht eine möglichst geringe Oberfläche darzubieten. Diese Abrundung der grünen Inhaltsbestandtheile der Zellen ist Folge einer Eigenbewegung derselben, dagegen wird ausser dieser durch recht intensives Licht auch eine Lageänderung der Chlorophyllkörper hervorgerufen, die das Protoplasma vermittelt. Wenn wir nämlich unsere Untersuchungsobjecte längere Zeit (bei meinen Versuchen mit Funariablättern $^3/_4$ Stunden) dem directen Sonnenlicht exponiren, so haben sich die Chlorophyllkörner von der Vorder- und Hinterwand der Zellen nach den Seitenwandungen derselben begeben, und sie sind hier in Profilstellung angeordnet. Die Gruppirung der Chlorophyllkörper in der Flächenstellung an der Vorder- und Hinterwand der Zellen kehrt übrigens zurück, wenn die Präparate einige Zeit diffusem Tageslicht ausgesetzt werden. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die hier erwähnten Stellungsänderungen der Chlorophyllkörper von biologischer Bedeutung für die Pflanzen sind. Im diffusen Licht nehmen die grünen Inhaltsbestandtheile der Zellen eine Lage ein, durch welche sie in den Stand gesetzt werden, die Lichtstrahlen für den Zweck der Assimilation in sehr vollkommener Weise auszunutzen, während sie vor dem zerstörenden Einflusse zu intensiven Lichtes durch Umlagerung auf die Seitenwandungen der Zellen geschützt werden [1]).

169. Die Bewegung der Plasmodien von Aethalium septicum.

Die Plasmodien der Myxomyceten sind zu eigenthümlichen Bewegungen befähigt; sie können von einem zu einem anderen Orte kriechen und verändern dabei fortwährend ihre Umrisse. Aeussere Umstände beeinflussen diese Bewegungen in hohem Grade, ein Verhältniss, welches für die Plasmodien hervorragende biologische Bedeutung besitzt. Das Aethalium septicum kommt zumal in der Gerberlohe vor. Die gelben Plasmodien sind im Frühjahr (z. B. im Mai, zu welcher Zeit ich zahlreiche Experimente mit denselben anstellte) in den älteren Lohemassen aufzufinden. Ausserdem trifft man aber auch zu dieser Zeit und ebenso im Winter Aethaliumsclerotien in Form kleiner, etwa 2 Mm. langer, knotenförmiger, gelber Massen in der Lohe an, aus denen man leicht Plasmodien gewinnen kann. Es muss hier ausdrücklich bemerkt werden, dass die Plasmodien sehr zarte, leicht absterbende und gegen Berührung mit der Hand empfindliche Gebilde sind. Daher müssen die Lohemassen mit den dieselben durchziehenden Plasmodien vorsichtig behandelt werden, und man thut am besten, die plasmodienhaltige Lohe, ohne sie viel zu rühren, in einem Kasten aus der Gerberei ins Laboratorium zu bringen. Wir stellen nun die folgenden Experimente an.

Ein schmaler, befeuchteter Streifen schwedischen Filtrirpapieres wird mit seinem einen Ende in ein zur Hälfte mit Wasser angefülltes Becherglas eingetaucht. Das andere Ende des Streifens hängt frei nach unten herab und wird bei der Ausführung der Versuche auf der die Plasmodien enthaltenden Lohe ausgebreitet. Verdunkelt man nun die ganze Vorrichtung, und hat man sie in einem Raum aufgestellt, in dem eine Temperatur von 25—30° C. herrscht, so treten alsbald Plasmodienmassen aus der Lohe hervor und kriechen mehr und mehr an dem

1) Vgl. Stahl, Botanische Zeitung, 1880, S. 321.

Papierstreifen empor. Diese Wanderung der Plasmodien auf einem völlig mit Wasser durchtränkten Substrat ist keine hydrotropische Erscheinung, sondern sie wird durch Wasserströmung bedingt. Die Plasmodien sind also rheotropisch, und zwar wandern sie stets dem Wasserstrom entgegen.

Die Plasmodien reagiren aber auch auf eine verschiedene Feuchtigkeitsvertheilung im Substrat; sie sind nicht nur rheo-, sondern ebenso hydrotropisch. Um diese Thatsache festzustellen, bringt man Plasmodien, die sich unter dem Einflusse eines Wasserstromes auf Fliesspapier angesammelt haben, in die Mitte einer mit mehrfacher Lage durchfeuchteten Filtrirpapiers bedeckten Glasplatte. Die Plasmodien breiten sich in einem Dunkelkasten, in welchem die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, gleichmässig auf dem horizontalen und durchfeuchteten Substrat aus. Gelangen die Untersuchungsobjecte nunmehr in einen trockenen, aber verdunkelten Raum und bringt man in geringer Entfernung über den Plasmodien einen mit verdünnter Gelatinegallerte bestrichenen Objectträger an, so ist alsbald (oft nach wenigen Stunden) eine interessante Erscheinung zu beobachten. Das Fliesspapier trocknet allmählich aus, und die Plasmodien ziehen sich von den austrocknenden Stellen des Substrats zurück, sammeln sich aber unter dem Feuchtigkeit spendenden Objectträger an. Die Plasmodien verhalten sich also positiv hydrotropisch. Es muss bemerkt werden, dass unsere Untersuchungsobjecte während der grössten Zeit ihres Entwickelungsganges in der Weise, wie es hier angegeben worden ist, auf verschiedene Feuchtigkeitsvertheilung reagiren. Die der Fructification nahen Plasmodien sind dagegen negativ hydrotropisch.

Geotropisch sind die Myxomycetenplasmodien gar nicht, denn wenn man Fliesspapierstreifen mit Plasmodien auf eine vertical stehende feuchte Unterlage (z. B. auf mit Wasser durchtränktes Papier, das einer Glasplatte anliegt) bringt, so breiten sie sich bei Lichtabschluss und im dampfgesättigten Raume nach allen Richtungen hin gleichmässig auf dem Substrat aus.

Von ganz besonderem Interesse ist es, die anziehenden sowie abstossenden Wirkungen, welche verschiedene Substanzen auf die Bewegungsrichtung der Plasmodien ausüben, genauer kennen zu lernen. Man verwendet bei bezüglichen Experimenten Plasmodien, die durch einen Wasserstrom auf Fliesspapier gelangt sind, oder das Untersuchungsmaterial wird aus Aethaliumsclerotien gewonnen, die man auf eine feuchte Unterlage (mehrere Bogen mit Wasser durchtränkten Fliesspapiers) gebracht hat. Ich erhielt auf diesem letzteren Wege schöne Plasmodien, und als dieselben durch längeres Verweilen unter einer Glasglocke ziemlich ausgehungert waren, was für den folgenden Versuch günstig ist, wurden kleine mit Loheaufguss durchtränkte Fliesspapierkügelchen auf die ausgebreiteten Schleimpilzmassen gelegt. Die Substanzen des Loheextracts wirken anziehend auf die Plasmodien ein, und daher erscheinen die Papierkügelchen bereits nach Verlauf einiger Stunden nach allen Richtungen hin von Plasmodiensträngen durchsetzt. Der Trophotropismus der Schleimpilze ist hiermit constatirt.

Auf irgend eine Stelle in der Mitte eines auf horizontaler feuchter Unterlage ausgebreiteten Plasmodiums bringe man ein kleines Kochsalzkryställchen. Die direct berührten Schleimpilztheile bräunen sich und sterben ab, während sich die nicht getödteten Theile des Untersuchungsobjects von dem Kochsalz zurückziehen, so dass Lücken im

Plasmodium entstehen, die sich übrigens wieder schliessen können, wenn eine hinreichend gleichmässige Vertheilung des sich allmählich auflösenden Kochsalzes im feuchten Substrat erfolgt ist. Chlornatrium wirkt also nicht anziehend, sondern abstossend auf die Plasmodien ein [1]).

Dass die ausserordentlich feine Reactionsfähigkeit der Plasmodien auf die erwähnten sowie auf einige andere äussere Einflüsse von biologischer Bedeutung für ihren zarten Organismus ist, wird von vornherein klar sein, und wir brauchen hier darauf nicht näher einzugehen.

II. Die geotropischen, heliotropischen und hydrotropischen Nutationen und einige andere Reizerscheinungen.

170. Das geotropische Verhalten der Wurzeln.

Die Wurzeln, zumal die Hauptwurzeln der Gewächse haben das Bestreben, senkrecht nach abwärts zu wachsen, eine Erscheinung, die durch das positiv geotropische Verhalten der Organe bedingt ist. Um das positiv geotropische Verhalten der Wurzeln zu constatiren, stellen wir den folgenden Versuch an. Samen von Pisum, Vicia Faba oder Phaseolus werden nach 24stündigem Anquellen in Brunnenwasser in feuchte Sägespäne gelegt, mit denen grosse Blumentöpfe oder Holzkästen angefüllt worden sind. Das Keimbett muss sehr locker und gleichmässig durchfeuchtet sein, wenn die Entwickelung der Keimlinge normal erfolgen soll. Die Samen von Vicia Faba werden so mit der Mikropyle nach abwärts in die Sägespäne gelegt, dass die austretende Hauptwurzel keine Krümmungen zu machen braucht. Die Samen von Phaseolus legt man horizontal in das Keimbett; die Hauptwurzel bildet dann nach ihrem Austritt einen rechten Winkel mit der Längsaxe des Samens. Wir stellen die Blumentöpfe oder Holzkästen unter grosse Pappkästen oder in einen Schrank und nehmen einige Keimlinge mit recht gerade gewachsenen Wurzeln aus den Sägespänen heraus, wenn die Wurzeln eine Länge von etwa 3 Ctm. erlangt haben. Wir spiessen einige der Untersuchungsobjecte nach sorgfältigem Abwaschen auf langen Stecknadeln auf und befestigen jeden Keimling in der Weise, wie es Fig. 105 zeigt, an einem den Tubulus einer genügend grossen Glasglocke verschliessenden Kork, so dass die Wurzel horizontal gerichtet ist. Der untere Rand der Glasglocke taucht in Wasser, mit welchem

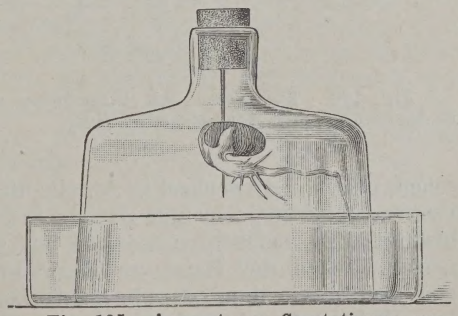


Fig. 105. Apparat zur Constatirung geotropischer Wurzelkrümmungen.

1) Vgl. Stahl, Botanische Zeitung, 1884, Nr. 10. Daselbst finden sich auch Angaben für weitere Experimente sowie Literaturzusammenstellungen.

eine Krystallisirschale angefüllt ist, während die Innenwand der Glasglocke mit feuchtem Fliesspapier ausgekleidet wird. Wir stellen unseren Apparat ins Dunkele. Wir können das Experiment auch einfach in der Weise ausführen, dass wir einige unserer Keimlinge aus den Sägespänen herausnehmen und mit horinzontal gerichteten Wurzeln wieder in dieselben hineinlegen. Wir können nun bei genügend hoher Temperatur (20 bis 25° C.) schon nach einigen Stunden (bei niederer Temperatur erst später) eine je nach Umständen mehr oder minder scharfe, nach abwärts gerichtete Krümmung der Wurzelspitze wahrnehmen. Die Wurzel führt eine positiv geotropische Krümmung aus und wächst nicht horizontal, sondern nach abwärts weiter. Wenn wir Keimlinge von Phaseolus etc. derartig in Sägespäne legen, dass ihre Wurzeln senkrecht nach aufwärts, ihre Spitzen also nach oben gerichtet sind, so krümmt sich die Spitze alsbald nach abwärts und wächst dann in dieser Richtung weiter. Bei meinen Versuchen mit Phaseolus (22° C.) hatte sich die Wurzelspitze bereits nach Verlauf von 4 Stunden erheblich gekrümmt. Werden Keimpflanzen in der Weise in Sägespäne gelegt, dass ihre Wurzeln schief nach auf- oder abwärts gerichtet sind, dann treten natürlich auch geotropische Krümmungen ein, welche bestrebt sind, das Wurzelende senkrecht nach abwärts zu führen.

Für die weiteren, etwas specieller auf die geotropische Abwärtskrümmung der Wurzeln eingehenden Untersuchungen bedürfen wir zunächst eines besonderen Kastens, wie ein solcher von Sachs zuerst construirt wurde und in Fig. 106 abgebildet ist. Ein solcher Kasten ist der Hauptsache nach aus starkem Zinkblech gefertigt. Die Vorder- und Hinterwand werden aber von ca. 20 Ctm. hohen und ca. 30 Ctm. breiten Glasplatten gebildet, und zwar dürfen diese Wände nicht senkrecht stehen, sondern sie müssen einen Neigungswinkel von etwa 10° besitzen. Der Boden des Kastens, seine metallenen Seitenwände und auch sein Deckel sind mit vielen kleinen Löchern versehen, um den Luftwechsel in der einzufüllenden Erde zu begünstigen. Wir verwenden leichte, sehr humusreiche Erde, wie sie für Gewächshauspflanzen benutzt wird, befeuchten dieselbe mit so viel Wasser, dass sie sich eben noch zwischen der Hand zu einer krümeligen Masse zerreiben lässt, und werfen sie dann durch ein Sieb mit 1,5 Mm. weiten Oeffnungen. Das Bodenmaterial darf beim nun erfolgenden Einfüllen in den Kasten nicht zusammengepresst werden; es muss eine lockere Beschaffenheit haben, wenn sich die Wurzeln der Untersuchungsobjecte ungestört entwickeln sollen. Die erforderlichen Keimpflanzen haben wir in angegebener Weise in feuchten Sägespänen cultivirt. Wir verwenden sie, wenn ihre Wurzeln einige Ctm. lang geworden sind. Zunächst handelt

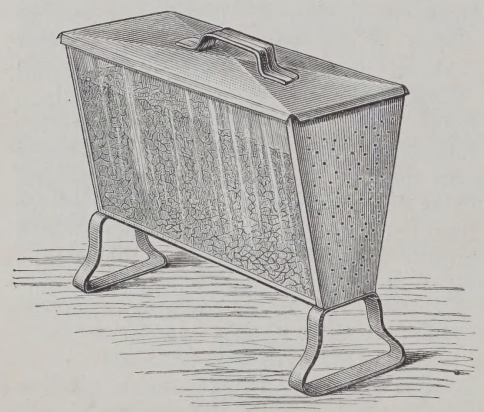


Fig. 106. Zinkkasten mit Glaswänden zu Beobachtungen über Wurzelentwickelung.

es sich darum, feine Tuschestriche auf den Wurzeln, die als Marken dienen sollen, anzubringen. Wir trocknen die Wurzeln vorsichtig mit etwas Leinwand ab und bringen dann mit Hülfe eines Pinsels in Entfernungen von je 2 oder 3 Mm. die Tuschestriche auf ihnen an. Diese sehr sorgfältig auszuführende Operation gelingt am besten, wenn man eine grosse, glatte, etwa 2 Ctm. dicke Korkplatte zur Hülfe nimmt, an deren linkem Rande mittelst einer runden Feile verschiedene grosse Kerben angebracht sind, von denen auf der Oberfläche der Korkplatte mit dünner runder Feile hergestellte Rinnen ausgehen. In die Kerben werden die Samen eingeschoben; die Rinnen nehmen die Wurzeln auf, und neben ihnen liegt eine Millimetertheilung. Die vorbereiteten Keimlinge werden mit horizontal gerichteter Wurzel in die Erde unseres Kastens gelegt, so zwar, dass die Wurzel der einen Glasplatte dicht angeschmiegt ist, mit Erde locker bedeckt und beobachtet. Man klebt der Aussenfläche der Glasplatte ein kleines, dreieckiges Papierstückchen auf, dessen eine Spitze genau auf die erste, gleich hinter der Wurzelspitze angebrachte Marke hinweist. Bei Phaseolus fand ich, wie es Sachs auch für Vicia angiebt, dass die Wurzel etwa eine Stunde lang horizontal weiter wuchs; die erste Marke entfernt sich dabei etwas von der Papierspitze. Dann aber machte sich alsbald eine geotropische Krümmung an den Wurzeln bemerklich, und von Zeit zu Zeit wiederholte Beobachtungen lehrten, dass zuerst eine Krümmung in der zwischen der ersten und zweiten Marke liegenden Zone deutlich zu constatiren ist; später dann auch in den übrigen Zonen. Man stellt leicht fest, dass alle im Längenwachsthum begriffenen Zonen der Wurzel sich an dem Zustandekommen der geotropischen Abwärtskrümmung betheiligen, und dies ist das wichtigste Resultat unseres Experiments.

Bei Gelegenheit der Untersuchungen über das Wachsthum der Hauptwurzeln von Phaseolus oder Vicia Faba hinter einer Glaswand wollen wir nicht versäumen, uns im Allgemeinen über die Form der geotropischen Krümmung, welche unsere Untersuchungsobjecte erfahren haben, zu unterrichten. Wir bedienen uns dabei einer dünnen Glimmerplatte, auf der ein System concentrischer Kreise mit der Cirkelspitze eingeritzt ist. Durch Anlegen der Glimmerplatte an die Glaswand, hinter welcher die Wurzel wächst, können wir leicht erfahren, welche Form die Wurzelkrümmung besitzt. Sie gleicht bei beginnender geotropischer Nutation einem Kreisbogen von bedeutendem Radius. Die Wurzelkrümmung erscheint später weniger flach als im ersten Stadium der Beobachtung. Fernerhin gleicht die Krümmung aber keinem Kreisbogen mehr, sondern sie wird parabolisch. Die Zone des lebhaftesten Wachsthums der Wurzel ist stark gekrümmt; vor und hinter dieser Region ist die Krümmung viel flacher.

Wir wollen nunmehr dazu übergehen, das geotropische Verhalten der Nebenwurzeln zu betrachten, und beschränken uns darauf, die aus den Hauptwurzeln von Phaseolus, Pisum, Vicia, Zea hervorgehenden Nebenwurzeln erster und zweiter Ordnung ins Auge zu fassen. Es werden Keimpflanzen in unserem Erdkasten hinter einer Glaswand cultivirt. Die Hauptwurzel wächst gerade nach abwärts. Die in acropetaler Reihenfolge sich an der Hauptwurzel bildenden Nebenwurzeln erster Ordnung schlagen diese Richtung aber nicht ein, sondern sie wachsen, wie es Fig. 107 zeigt, in mehr oder minder schiefer Richtung nach abwärts. Man kann sich leicht davon überzeugen, dass den Nebenwurzeln erster Ordnung in der That ein geotropisches Verhalten zukommt; denn wenn

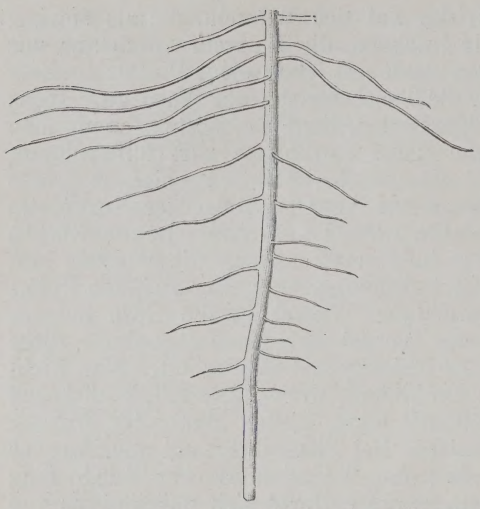


Fig. 107. Theil einer hinter einer Glaswand erwachsenen Wurzel von Phaseolus multiflorus.

man den Erdkasten umkehrt, so dass die Spitze der Hauptwurzel nach oben gerichtet ist, dann findet man nach einiger Zeit, dass die Enden der fortwachsenden Nebenwurzeln sich in einem Bogen nach abwärts gewendet haben. Die Nebenwurzeln erster Ordnung wachsen also im Gegensatz zu den Hauptwurzeln nicht senkrecht nach abwärts, sondern ihre positiv geotropische Abwärtskrümmung hört auf, wenn sie mit der Verticalen einen bestimmten Winkel, den geotropischen Grenzwinkel, bilden. Die aus den Nebenwurzeln erster Ordnung hervorgehenden Nebenwurzeln zweiter Ordnung sind, wie noch bemerkt werden mag, gar nicht geotropisch; sie wachsen ihrer Anlage gemäss weiter und reagiren nicht auf den Einfluss der Schwerkraft[1]).

171. Das geotropische Verhalten der Sprosse.

Zahlreiche Stengel besitzen ein ausgeprägt negativ geotropisches Verhalten, und wir wollen dieselben daher benutzen, um uns weitere Aufklärung über die Einwirkung der Schwerkraft auf die Pflanzen zu verschaffen. Werden negativ geotropische Pflanzentheile in eine horizontale Lage gebracht, so krümmen sie sich aufwärts, eine Erscheinung, die unter Benutzung der verschiedensten Untersuchungsobjecte leicht constatirt werden kann. Wir bedecken den Boden eines grossen Zinkkastens mit feuchtem Sand, häufen den Sand an den Wänden derartig zusammen, dass er hier ziemlich hoch liegt, stecken in die auf diese Weise gebildeten Sandwälle das untere Ende der auf ihren Geotropismus zu prüfenden Stengelstücke hinein, so dass sie im Uebrigen frei hervorragen, ohne den Sand zu berühren, und verschliessen den Kasten mit einem Deckel. Als ich z. B. Blüthenknospen tragende Sprosse von Chrysanthemum Leucanthemum in den feuchten, dunkeln Raum des Zinkkastens in horizontale Lage brachte, hatten sich dieselben bei 24° C. schon nach wenigen Stunden stark nach aufwärts gekrümmt. Die geotropische Wachsthumsbewegung hört schliesslich auf, wenn der obere Stengeltheil mit dem unteren einen rechten Winkel bildet. Das Auftreten geotropischer Krümmungen ist ebenso an abgeschnittenen epicotylen

1) Die Literatur über den Geotropismus der Wurzeln habe ich in meinem Lehrbuch der Pflanzenphysiologie zusammengestellt. In Bezug auf die Untersuchungsmethode verdient in erster Linie eine Arbeit von Sachs in den Arbeiten d. botanischen Instituts in Würzburg, B. 1, Beachtung.

Gliedern der im Dunkeln erwachsenen Bohnenkeimlinge in der angegebenen Weise leicht festzustellen (vgl. Fig. 108). Bei Experimenten

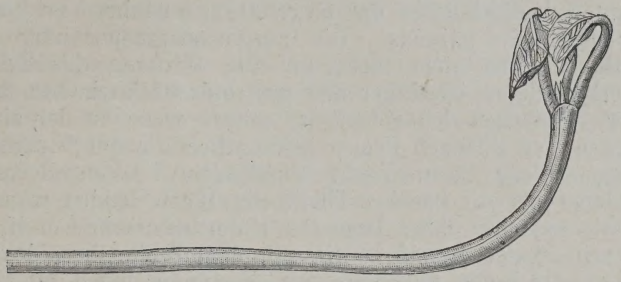


Fig. 108. Negativ geotropisch gekrümmtes Epicotyl von Phaseolus multiflorus.

mit Aristolochia Sipho benutzte ich nicht ganze Sprosse, sondern aus lebhaft wachsenden Internodien herausgeschnittene Stücke. Sie zeigten ein stark negativ geotropisches Verhalten, und diese Thatsache, die auch an Stengelstücken anderer Pflanzen (z. B. Stücken aus dem Epicotyl im Dunkeln erwachsener Phaseoluskeimlinge) ohne jede Schwierigkeit festgestellt werden kann, ist mit Rücksicht auf das unter 173 Angeführte, wo von der Bedeutung der Wurzelspitze für das Zustandekommen geotropischer Wurzelkrümmungen die Rede sein wird, von Interesse, denn sie lehrt mit aller Bestimmtheit, dass die Spitze der Stengel für das geotropische Verhalten derselben bedeutungslos erscheint. Das epicotyle Glied von Phaseolus eignet sich für Versuche über den Geotropismus besonders, weil Bohnenkeimlinge zu jeder Jahreszeit ohne Mühe cultivirt werden können. Die Reactionsfähigkeit verschiedener Pflanzentheile auf die Wirkung der Schwerkraft ist übrigens keineswegs in quantitativer Beziehung die gleiche. Während die erwähnten Objecte sich sehr schnell und stark krümmen, wenn sie in einem feuchten Raum in horizontale Stellung gebracht worden sind, führen z. B. junge entblätterte Sprosse von Sambucus nigra unter gleichen Umständen nur langsam geotropische Krümmungen aus.

Lehrreich ist der folgende Versuch, den ich wiederholt ausführte. Wir stecken das untere Ende eines beblätterten Sprosses von Hippuris vulgaris in den feuchten Sand unseres Zinkkastens. Hat der Spross bei höherer Temperatur 1—$1^1/_2$ Stunden in horizontaler Lage verweilt, so ist schon eine deutliche, freilich noch nicht sehr starke Krümmung wahrnehmbar. Jetzt bringen wir den Spross in senkrechter Stellung unter eine Glasglocke. Sein unteres Ende steckt in feuchtem Sand, und das Licht wird vom Untersuchungsobjecte abgehalten. Wir gewahren nun nach einiger Zeit zu unserer Ueberraschung, dass die bei horizontaler Lage des Hippurisstengels aufgetretene Krümmung jetzt, wo derselbe in senkrechter Lage verweilt, erheblich stärker wird. Damit haben wir eine Erscheinung constatirt, die auf geotropischer Nachwirkung beruht, und welche daher auch bald einer anderen Platz macht. Die bei verticaler Stellung des Untersuchungsobjectes zunächst stärker gewordene Krümmung verschwindet nämlich allmählich vollständig; der Spross richtet sich gerade auf, weil die Schwerkraft nach dem Erlöschen der geotropischen Nachwirkung in gewöhnlicher Weise auf sein gekrümmtes Ende einwirkt. Das Phänomen der geotropischen

Nachwirkung lässt sich übrigens auch unter Benutzung anderer Sprosse feststellen.

Bei den meisten Pflanzen beschränkt sich das Vermögen, Krümmungen unter dem Einflusse der Gravitation ausführen zu können, auf die Internodien des Gipfels. Die ausgewachsenen, tiefer liegenden Sprosstheile reagiren nicht mehr auf die Wirkung der Schwerkraft. Um so merkwürdiger ist daher das geotropische Verhalten der Halme der Gräser. Zwischen den einzelnen, scharf von einander abgesetzten Internodien dieser Pflanzen liegen bekanntlich die durch ihre Färbung und angeschwollene Form leicht kenntlichen Knotengelenke, welche nichts anderes als die basalen Theile der Blattscheiden repräsentiren. Während die zwischen ihnen liegenden Halmtheile schon steif und hart geworden sein können, bewahren diese Knotengelenke ihren jugendlichen Charakter relativ lange und sie vermögen daher auch das Zustandekommen geotropischer Wachsthumskrümmungen leicht zu vermitteln. Freilich erlischt schliesslich ebenfalls in den Zellen der Knotengelenke dies Wachsthumsvermögen. Die jüngeren Knotengelenke der Grashalme sind, weil ihr Parenchym noch sehr energisch turgescirt und weil die Zellen derselben noch die Fähigkeit zu sehr ausgiebigem Wachsthum besitzen, zu stärkeren geotropischen Krümmungen als die älteren Knotengelenke befähigt. Wenn man z. B. aus dem Halm einer blühenden Roggen- oder Gerstenpflanze einzelne, etwa 10 Ctm. lange Stücke herausschneidet, von denen jedes einzelne in seiner Mitte einen Knoten trägt, um dem Untersuchungsmaterial nun sofort in unserem Zinkkasten eine horizontale Lage zu ertheilen, so findet man, dass sich die jüngeren Halmstücke z. B. nach Verlauf von 24 Stunden viel stärker geotropisch gekrümmt haben als die älteren. Durch Winkelmessung lässt sich der Krümmungsgrad noch genauer angeben. Die ältesten Halmstücke krümmen sich gar nicht mehr. Die Form, welche geotropisch sich aufrichtende Grashalmstücke annehmen, ist in Fig. 109 zur Anschauung

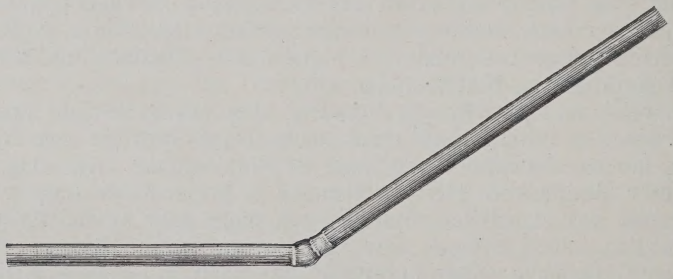


Fig. 109. Halmstück eines Grases, geotropisch gekrümmt.

gebracht. Durch einen Versuch kann man sich leicht davon überzeugen, dass nicht allein unversehrte, sondern auch der Länge nach gespaltene Grashalmstücke zu geotropischen Krümmungen befähigt sind.

Werden einige Grashalmstücke, die in ihrer Mitte einen Knoten tragen (ich experimentirte mit Halmstücken von Hordeum), horizontal, andere, mit jenen gleichalterige aber schief nach aufwärts gerichtet in feuchten Sand gesteckt, so findet man nach 1—2 Tagen, dass die ersteren sich stärker als die letzteren gekrümmt haben, wie Winkelmessungen sofort ergeben. Nach dem Resultat dieses Experiments, das

auch mit beliebigen anderen Stengeltheilen, die energisch auf den Reiz der Schwerkraft reagiren, wiederholt werden kann, ist die Einwirkung der Gravitation auf die Pflanzen eine um so kräftigere, je mehr sich der Winkel, in welchem sie ihren Einfluss auf dieselben geltend macht, einem Rechten nähert.

Schliesslich wollen wir noch einige Versuche über das Wachsthum sich geotropisch krümmender Grasknotengelenke und anderer Pflanzentheile anstellen. Es ist bekannt, dass die Knotengelenke nachdem sie eine gewisse Entwickelung erfahren haben, ihr Wachsthum unter normalen Verhältnissen einstellen. Merkwürdigerweise beginnt aber das Wachsthum in den Zellen der Knotengelenke wieder, wenn dem Grashalmstücke eine horizontale Lage ertheilt wird. Wir schneiden aus Roggen- oder Gerstenhalmen Stücke heraus, die in ihrer Mitte mit einem Knoten versehen sind, markiren die Länge der Knotengelenke auf zwei Seiten durch feine Tuschestriche und bringen die Untersuchungsobjecte in unseren Zinkkasten. Nach 2 oder 3 Tagen messen wir die Entfernung der Tuschestriche wieder an den geotropisch gekrümmten Halmstücken, indem wir uns dabei einer auf einem Papierstreifen aufgetragenen Millimetertheilung bedienen. Es ergiebt sich, dass die convexe Unterseite des Knotengelenkes beträchtlich an Länge zugenommen hat, während die concave Oberseite sich in Folge eingetretener Compression ihres Gewebes verkürzt hat. Bei dem Zustandekommen negativ geotropischer Krümmungen wird also auf jeden Fall die Wachsthumsenergie der Zellen der convex werdenden Unterseite ganz bedeutend gefördert.

Sehr lehrreich ist es, die folgende Beobachtung, die ich unter Benutzung stark geotropisch gekrümmter Halmstücke des Hafers mit besonders gutem Erfolg anstellte, vorzunehmen. Man stellt radiale Längsschnitte aus einem Knoten her und unterzieht dieselben der mikroskopischen Betrachtung. Die Zellen des Parenchyms von der Unterseite erscheinen, wie sich sofort ergiebt, beträchtlich in Richtung der Längsaxe des Organs gestreckt, während die Zellen von der Oberseite eine tafelförmige Gestalt besitzen. Ihr Längsdurchmesser ist kürzer als ihr radialer Durchmesser. Die Erscheinung, dass die Unterseite der sich geotropisch krümmenden Grasknoten convex wird, beruht also auf einem sehr stark geförderten Wachsthum der Zellen dieser Seite.

Zu weiteren Beobachtungen über das Wachsthum sich geotropisch krümmender Pflanzentheile eignen sich besonders Stengelstücke von Sida Napaea, und zwar benutzen wir 200—300 Mm. lange, ihrer Blätter sowie ihrer Endknospe beraubter, aus einigen Internodien bestehende Sprosse, die völlig gerade gewachsen sein müssen, und die wir sorgsam ausgewählt haben. Wir schneiden 9 solcher Stengelstücke ab, machen sie sämmtlich gleich lang und bringen sie in Gruppen von je 3 Stück. Die 3 Stengelstücke der ersten Gruppe analysiren wir sofort, indem wir mit einem scharfen Rasirmesser zwei Rindenstreifen von denselben abziehen und ihre Länge durch Messung feststellen. 3 Stengelstücke bringen wir in unserem mit feuchtem Sand beschickten Zinkkasten in horizontale Lage, die 3 letzten Stücke führen wir in wenig geneigter Stellung in einen Glascylinder ein, dessen Boden mit feuchtem Sand bedeckt ist und dessen Mündung mit Hülfe eines Korkes verschlossen werden kann. Nach 24 Stunden werden die Stengelstücke der zweiten und dritten Gruppe analysirt. Wir ziehen von ihrer concaven und convexen Seite Rindenstreifen ab und messen deren Länge. Vergleichen wir die Mittelwerthe, welche sich bei unseren Untersuchungen mit

Rücksicht auf die Zuwachsbewegung der horizontal gelegten, daher stark geotropisch gekrümmten Sidasprosse ergeben, so stellt sich heraus, dass das Wachsthum der convex gewordenen Seite derselben grösser, das Wachsthum der concav gewordenen Seite aber geringer gewesen sein muss als dasjenige der gleichnamigen Seiten der im Glascylinder aufgestellten und daher gar nicht oder nur schwach gekrümmten Vergleichsobjecte[1]).

172. Die Ursachen der geotropischen Krümmungen.

Als Quelle derjenigen Kraft, welche die innere und äussere Arbeit bei dem Zustandekommen geotropischer Krümmungen leistet, ist natürlich nicht die Erdanziehung anzusehen. Jene Kraft wird vielmehr von der Pflanze selbst geliefert, und die Schwerkraft, welche als Reizursache wirkt, löst sie nur unter bestimmten Umständen aus.

Dass bei dem Zustandekommen negativ geotropischer Krümmungen eine erhebliche äussere Arbeit geleistet wird, ist ohne weiteres klar, wenn man sich an die durch die Krümmung herbeigeführte Hebung der oft ein nicht unbedeutendes Gewicht besitzenden Sprossenden erinnert. Aber auch bei dem Hervortreten positiv geotropischer Nutationen werden die Pflanzentheile nicht einfach passiv durch die Schwere nach abwärts gezogen, sondern sie betheiligen sich in activer Weise an der stattfindenden Bewegung. Das Eindringen sich positiv geotropisch krümmender Wurzeln in Quecksilber zeigt dies deutlich. In ein Gefäss von etwa 10 Ctm. Durchmesser wird bis zu einer Höhe von 3 Ctm. reines Quecksilber gegossen. Wir befestigen nun an einer Stelle der Seitenwand ein Stück Kork mittelst Siegellack. Mit Hülfe einer langen Nadel wird dann eine Keimpflanze von Vicia Faba oder Phaseolus mit einer einige Ctm. langen Wurzel derartig angespiesst, dass der vordere Theil ihrer Wurzel horizontal auf dem Quecksilber ruht. Nachdem wir noch etwas Wasser auf das Quecksilber gegossen haben und der Apparat unter eine Glasglocke gestellt worden ist, überlassen wir ihn sich selbst. Abgesehen von Nebenerscheinungen, lässt sich nach Verlauf längerer Zeit (etwa 24 Stunden) namentlich das Eindringen des Wurzelendes in das Quecksilber constatiren. Die geotropisch gekrümmte Wurzel überwindet den Widerstand, welchen das Metall ihr darbietet, und wächst senkrecht in dasselbe hinein.

Wir wissen — und wir kommen hierauf noch specieller zurück — dass die geotropischen Krümmungen (abgesehen von den geotropischen Variationsbewegungen) durch Wachsthumsvorgänge zu Stande kommen. Die meisten Pflanzen wachsen nicht, wenn ihnen kein freier Sauerstoff zur Disposition steht, und somit werden auch die geotropischen Nutationen in einem sauerstofffreien Medium unterbleiben. Mit Hülfe des in Fig. 110 abgebildeten Apparates lässt sich diese Thatsache leicht feststellen. In einen grossen, horizontal gelegten Glascylinder bringen wir ein mit feuchtem Fliesspapier bekleidetes Brettchen (*B*), auf welchem wir mit Hülfe von Nadeln Keimlinge von Pisum oder Phaseolus oder abgeschnittene epicotyle Glieder dieser letzteren Pflanze oder z. B. mit Blüthenknospen versehene Schäfte von Taraxacum (*St.*) befestigt haben. Die

1) Vgl. zumal Sachs in Arbeiten d. botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 1, und H. de Vries in Landwirthschftl. Jahrbüchern, Bd. 9.

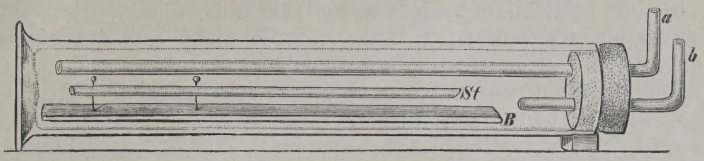


Fig. 110. Apparat zur Constatirung der Thatsache, dass Pflanzentheile bei Sauerstoffausschluss keine geotropischen Krümmungen erfahren.

wachsthumsfähigen Regionen der Wurzeln resp. Stengel müssen frei und horizontal schweben. Der Cylinder wird schnell mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen. Die Bohrungen dienen zur Aufnahme im rechten Winkel gebogener Glasröhren, und während die eine (*a*) mit einem Wasserstoffentwickelungsapparat in Verbindung steht, dient die andere (*b*) zur Ableitung des den Cylinder verlassenden Gases. Wir leiten stundenlang einen Wasserstoffstrom durch den Apparat, aber eine geotropische Krümmung lässt sich an den Untersuchungsobjecten nicht wahrnehmen. In einem ähnlichen Cylinder führen Keimlinge oder Sprosse, welche in demselben in Contact mit atmosphärischer Luft verharren, zumal bei höherer Temperatur schnell energische geotropische Nutationen aus [1]).

Die Untersuchungen über das Zustandekommen der geotropischen Krümmungen haben zu dem Resultat geführt, dass die Gravitation, welche als Reizursache wirkt, nicht direct das Wachsthum der krümmungsfähigen Organe, sondern zunächst die Turgorverhältnisse ihrer Zellen beeinflusst. Wir experimentiren mit dem epicotylen Stengelglied von Phaseolus, mit 20 Ctm. langen, jungen Sprossenden von Aristolochia, Taraxacum, Plantago, Papaver etc. Die Untersuchungsobjecte werden in den feuchten, dunkeln Raum eines Zinkkastens (vgl. unter 171) in horizontale Lage gebracht. Wenn nach Verlauf einiger Zeit (2—4 Stunden) eine deutliche geotropische Aufwärtskrümmung an ihnen zu sehen ist, so legen wir sie auf einen Carton, auf dem concentrische Kreise aufgetragen sind. Wir suchen denjenigen Kreis auf, dessen Krümmung mit derjenigen des Pflanzentheils möglichst genau zusammenfällt, und ermitteln den Radius des Kreises. Nun legen wir unser Untersuchungsobject in eine 20procentige Kochsalzlösung enthaltende Krystallisirschale. Nach einigen Stunden stellen wir die Schale auf den Carton und suchen wieder, indem wir den plasmolytisch gemachten schlaffen Stengeltheil mit der Pincette verschieben, den seiner Krümmung entsprechenden Kreis auf. Der Radius dieses Kreises ist grösser als derjenige jenes Kreises, den wir vor der Plasmolyse auffanden. Man sieht, dass der in den plasmolytischen Zustand versetzte geotropisch gekrümmte Pflanzentheil eine bleibende Krümmung behält, eine Erscheinung, die eben Folge des durch die Schwerkraftwirkung erzielten Wachsthumsvorganges ist. Derjenige Theil der ursprünglichen Krümmung, welcher durch Plasmolyse beseitigt werden kann, ist dagegen auf Rechnung der Turgorverhältnisse zu setzen. Wenn die erwähnten Untersuchungsobjecte etwa 24 Stunden im Zinkkasten in horizontaler Lage verweilt haben, so wird ihre Krümmung durch Plasmolyse nicht zum Theil aufgehoben; sie bleibt in ihrem ganzen Um-

1) Vergl. G. Kraus, Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Halle, B. 16.

fange in der Salzlösung bestehen, weil sie durch Wachsthumsvorgänge in den Zellen fixirt worden und deshalb nicht mehr rückgängig zu machen ist.

Wenn man Halmstücke von Gräsern (ich experimentirte z. B. mit Secale), die 10 Ctm. lang und in ihrer Mitte mit einem Knoten versehen sind, in horizontaler Lage in unserem Zinkkasten befestigt, indem man ihr unteres Ende in den an einem der Kastenwände zusammengehäuften Sandwall steckt, so tritt alsbald eine beträchtliche Krümmung im Knotengelenk ein. Diese betrug z. B. in einem Falle, den ich beobachtete, 45°. Als ich das Halmstück in den völlig plasmolytischen Zustand versetzt hatte, war die Krümmung nur noch = 25°. Die Betheiligung von Turgor- und zugleich von Wachsthumsverhältnissen an der geotropischen Aufwärtsbewegung ist also auch hier unzweifelhaft festgestellt [1]).

Nach demjenigen, was ich in meinem Lehrbuche der Pflanzenphysiologie über die Grundursachen der geotropischen Nutationen gesagt habe, darf wohl daran festgehalten werden, dass die Schwerkraft die Turgorkraft der Zellen auf der convex und concav werdenden Seite der sich krümmenden Pflanzentheile nicht, wohl aber die Widerstandsfähigkeit der unter dem Einfluss des Tugors gedehnten Zellschichten (Protoplasma sowie Zellhaut) modificirt. Bei negativ geotropischen Organen wird die Widerstandsfähigkeit dieser Schichten in den Zellen der convex werdenden Unterseite vermindert, diejenige der Zellen der concav werdenden Oberseite aber erhöht. Somit kann die Turgorausdehnung der Zellen der Unterseite bei gleich bleibender Turgorkraft derselben gesteigert, jene der Zellen der Oberseite herabgesetzt werden, und damit ist sofort die Bedingung für ein verschiedenartiges Wachsthum der antagonistischen Seiten des Pflanzentheiles gegeben. Voraussichtlich wird auch der Wassergehalt der unteren Hälfte negativ geotropisch gekrümmter Pflanzentheile grösser als derjenige der oberen Hälfte sein, und in der That will Kraus [2]) derartige Differenzen im Wassergehalt constatirt haben. Es sind aber über die Wasservertheilung in geotropisch gekrümmten Pflanzentheilen erneute Untersuchungen anzustellen, da wenigstens die Angaben von Kraus bezüglich der Wasservertheilung in heliotropischen Stengeln durch Thate's [3]) Beobachtungen keine Bestätigung gefunden haben.

173. Die Function der Wurzelspitze bei dem Zustandekommen geotropischer Krümmungen.

Darwin [4]) hat bekanntlich in neuerer Zeit mit grosser Bestimmtheit die Behauptung aufgestellt, dass das Vorhandensein der Wurzelspitze von wesentlicher Bedeutung für das Zustandekommen geotropischer Krümmungen der Wurzeln sei. Er redet aus diesen und anderen Gründen von einer „Gehirnfunction" der Wurzelspitze, freilich ein unglücklich gewählter Ausdruck, der sehr leicht zu Missverständnissen führen kann. Die von Darwin angeregte Frage, welche übrigens schon früher von

1) Vergl. H. de Vries, Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 9, S. 500.
2) Vergl. G. Kraus, Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Halle, B. 15.
3) Vergl. Thate in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissensch. Botanik, B. 13.
4) Darwin, Das Bewegungsvermögen d. Pflanzen, 1881.

Ciesielski und Sachs behandelt worden war, hat Veranlassung zur Ausführung zahlreicher Untersuchungen gegeben, deren Resultate theils für, theils gegen die Ansicht des brittischen Naturforschers sprechen [1]). Man führt die Experimente am zweckmässigsten mit Keimpflanzen von Pisum, Zea, Vicia Faba oder Phaseolus aus. Nach dem Anquellen werden die Samen in feuchten Sägespänen zur Keimung gebracht, bis ihre senkrecht nach abwärts gewachsenen Wurzeln eine Länge von 2—3 Ctm. erreicht haben. Jetzt bringt man auf einer Reihe von Wurzeln (es ist am besten, zahlreiche, z. B. 20 Untersuchungsobjecte zu verwenden) in einer Entfernung von 15—20 Mm. von der Spitze Tuschestriche als Marken an und legt die Hälfte der Keimlinge derartig in feuchte Sägespäne, dass ihre Wurzeln horizontal gerichtet sind. Von den übrigen Wurzeln entfernt man ein 1,5—2 Mm. langes Stück der Spitze, indem man die Wurzeln an ein Korkscheibchen anlegt und mit Hülfe eines scharfen Rasirmessers in möglichst horizontaler Richtung Querscheibchen abträgt, bis der gewünschte Erfolg erzielt ist. Auch die Keimlinge mit den decapitirten Wurzeln werden nun horizontal in Sägespäne gelegt. Nach 24—48 Stunden stellt man die Grösse der Zuwachsbewegung an sämmtlichen Untersuchungsobjecten fest und beobachtet, ob sie geotropische Krümmungen ausgeführt haben. Ich fand bei Versuchen mit Phaseolus multiflorus, dass die normalen Wurzeln im Laufe von 48 Stunden sämmtlich einen beträchtlich grösseren Zuwachs erfuhren als die decapitirten. Es war die Wurzelspitze in einer Länge von 2 Mm. abgetragen worden. Dies Resultat steht aber nicht mit den Angaben sämmtlicher, wohl aber mit denjenigen einiger Beobachter, die den nämlichen Gegenstand untersuchten, in Einklang. Meine Versuche mit Phaseolus lehrten ferner, dass die Wurzeln der intacten Pflanzen normale geotropische Krümmungen ausführten, während die decapitirten Wurzeln sich freilich ebenfalls krümmten, aber in verschiedener Richtung, nämlich nach oben, seitlich oder auch nach unten.

Ich bin weit entfernt davon, aus meinen Beobachtungen Schlüsse über die Function der Wurzelspitze bei dem Zustandekommen der geotropischen Krümmungen ziehen zu wollen, denn dazu ist die Anzahl meiner Versuche mit Phaseolus und ebenso mit Viciakeimlingen zu gering gewesen. Bei Experimenten mit Vicia Faba fand ich übrigens, dass die decapitirten Wurzeln in den ersten 24 Stunden ebenso lebhaft wuchsen wie die intacten. Die verschiedenen Fragen, um welche es sich hier handelt, sind nach meinen eigenen Erfahrungen noch nicht als erledigt zu betrachten.

Wenn man die Literatur über die Function der Wurzelspitze durchgeht, so wundert man sich über die zahlreichen Widersprüche in den Angaben bezüglich der Bedeutung der Spitze für Längenwachsthum und geotropische Krümmungen. Mir scheint, dass viele der Experimentatoren eine Reihe von Gesichtspunkten bei ihren Untersuchungen nicht genügend gewürdigt haben. 1. Es ist möglich, dass die Wurzelspitze für Wachsthum und Geotropismus der Wurzeln verschiedener Pflanzenspecies nicht dieselbe Bedeutung besitzt. 2. Man hat, um zu einem sicheren Resultate zu gelangen, stets mit zahlreichen

1) Vergl. Wiesner, Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881; Detlefsen, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2; Kirchner, Programm zur 64. Jahresfeier d. Akademie Hohenheim, 1882; vergl. ferner die Angaben von Krabbe, Molisch, Wiesner, Brunchorst im ersten und zweiten Jahrgange d. Berichte d. deutschen botanischen Gesellschaft.

Untersuchungsobjecten zu operiren. 3. Es ist für den Erfolg der Versuche nicht gleichgültig, ob man die Wurzelspitze in einer Länge von 1, 1,5 oder 2 Mm. abträgt, denn häufig wird bei zu unbedeutender Decapitation noch ein Theil der den Reiz nach Darwin übermittelnden Wurzelspitze nicht entfernt sein. 4. Bei längerer Versuchsdauer ist auf die an den decapitirten Wurzeln erfolgenden Regenerationsvorgänge zu achten [1]). 5. Man hat mit Rücksicht auf die Nutationen der Wurzeln (vergl. unter 155) darauf Gewicht zu legen, welche Lage man den decapitirten und intact gelassenen Wurzeln ertheilt. Eine ausführliche und kritische Neubearbeitung der Frage nach der Function der Wurzelspitze wäre daher sehr erwünschst.

174. Experimente mit dem Klinostaten.

Der Klinostat ist für den Pflanzenphysiologen ein ausserordentlich wichtiger Apparat. In Fig. 111 ist ein Klinostat abgebildet; man kann demselben je nach Bedürfniss aber auch andere Formen geben. Bei dem mir zur Verfügung stehenden Apparat, mit dem ich zahlreiche

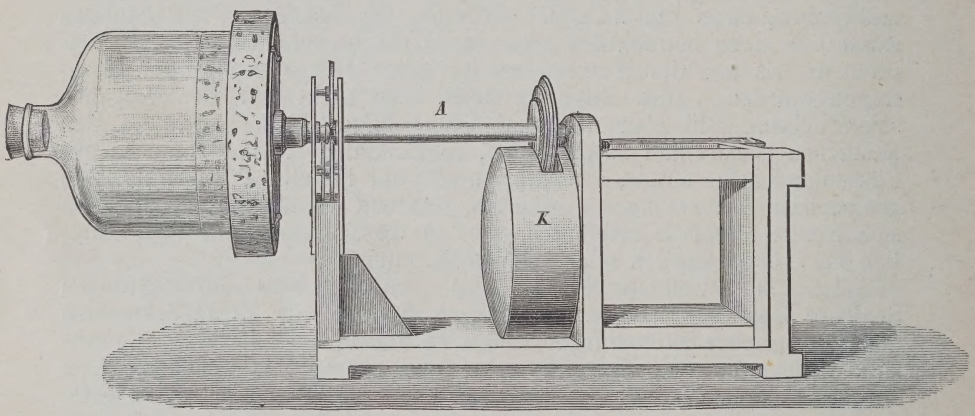


Fig. 111. Klinostat.

Experimente anstellte (vergl. Fig. 111), wird die Axe *A* durch ein sehr starkes Uhrwerk, welches unter der Kapsel *K* angebracht ist, in langsame Drehung versetzt. Ein voller Umlauf der Axe erfolgt in 20 Minuten. An dem einen Ende der Axe ist eine Metallscheibe befestigt, und diese trägt eine in geeigneter Weise zurechtgeschnittene Korkplatte, auf welche eine nicht zu kleine Glasglocke aufgesetzt werden kann. Wir können unseren Klinostaten entweder so aufstellen, dass die Rotationsaxe horizontal, die Scheibe also vertical gerichtet ist, oder wir können der Rotationsaxe auch eine verticale, der Scheibe also eine horizontale Richtung geben.

In vielen Fällen ist es auch zweckmässig, einen derartigen Klinostaten, wie er von Sachs auf S. 836 seiner Vorlesungen über Pflanzenphysiologie abgebildet worden ist, zu benutzen. Der von Wortmann

1) In dieser Hinsicht vergl. Prantl, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1.

(vergl. Berichte d. deutschen botanischen Gesellschaft, B. 4, S. 245) beschriebene und abgebildete Klinostat ist für 160 M. von der technischen Anstalt der Gebrüder Ungerer in Strassburg zu beziehen. Sehr gute Klinostaten liefert auch zu einem Preise von 220—320 M. E. Albrecht, Universitäts-Mechaniker in Tübingen.

Das erste Experiment mit dem Klinostaten stellen wir nun in der Weise an, dass wir Keimlinge der Erbse oder Bohne, die sich in Sägespänen entwickelt haben, auf langen Nadeln aufspiessen, wenn die Hauptwurzeln einige Ctm. Länge erreicht haben, und mit Hülfe der Nadeln auf der Korkplatte unseres Apparats befestigen. Es ist dabei völlig gleichgültig, welche Richtung die Keimwurzeln haben. Wir setzen die Glasglocke auf, deren Tubulus mit etwas feuchter Watte verschlossen wird, und deren Innenwand wir mit Streifen feuchten Fliesspapieres auskleiden. Ebenso haben wir die Oberfläche der Korkplatte vor der Befestigung der Keimpflanzen mit einem Stück durchnässter Watte bedeckt. Wir stellen den Klinostaten im Dunkeln (in einem Schrank oder unter einem Pappkasten) derartig auf, dass seine Rotationsaxe horizontal gerichtet ist. Die Untersuchungsobjecte rotiren also in verticaler Ebene. Nach Verlauf einiger Stunden oder längerer Zeit constatiren wir das Nichtvorhandensein geotropischer Krümmungen an den Wurzeln der Keimlinge, während die Wurzeln solcher Keimpflanzen, die in der unter 170 angegebenen Weise unter einer Glasglocke in horizontale Lage gebracht worden sind, alsbald geotropische Krümmungen erfahren. Bei langsamer Rotation um eine horizontale Axe können Pflanzen keine geotropischen Krümmungen ausführen, weil sich ihre Stellung zum Erdradius fortwährend verändert, und zwar gilt dies nicht allein für die positiv geotropischen Wurzeln, sondern ebenso für die negativ geotropischen Organe. Halmstücke von Gräsern und junge Blüthenschäfte von Taraxacum krümmen sich, wie wir unter 171 gesehen haben, sehr energisch aufwärts, wenn sie horizontal gelegt werden. Wenn man dieselben Objecte mit Hülfe von Nadeln auf der Korkplatte eines Klinostaten befestigt, dessen Axe horizontal gerichtet ist, so tritt bei langsamer Rotation keine geotropische Krümmung hervor.

Wir legen eine Anzahl wohl ausgebildeter, recht grosser Samen von Pisum oder Vicia Faba in Wasser. Nach 24 Stunden, wenn die Samen gequollen sind, befestigen wir sie mit Hüfe langer Nadeln auf der Korkplatte des Klinostaten, setzen die Glasglocke auf und lassen die Untersuchungsobjecte in verticaler Ebene rotiren. Für hinreichenden Feuchtigkeitsgehalt der die Keimlinge umgebenden Luft ist in der schon oben angegebenen Weise Sorge zu tragen. Man kann auch in der Art verfahren, dass man die gequollenen Samen mit Nadeln in geeigneter Weise am Umfang der Korkscheibe befestigt und unter dem rotirenden Kork ein grosses, mit Wasser angefülltes Gefäss aufstellt, so dass die Untersuchungsobjecte im Laufe einer ganzen Drehung, die etwa 20 Minuten beansprucht, ungefähr 2 Minuten lang in Wasser eintauchen. Der Klinostat wird bei Lichtabschluss in Bewegung gesetzt. Nach Verlauf einiger Tage haben sich die Hauptwurzeln der Keimlinge, ohne geotropisch gekrümmt zu sein, bis zu beträchtlicher Länge entwickelt; es sind auch Nebenwurzeln erster Ordnung aus ihnen hervorgetreten. Diese Nebenwurzeln bilden mit der Hauptwurzel einen bestimmten Winkel, und man bezeichnet denselben, da er nur von inneren Wachsthumsursachen, jedenfalls nicht von der Wirkung des Lichtes und der Schwerkraft abhängt, als Eigenwinkel der Nebenwurzeln. Die Grösse

des Eigenwinkels ist selbst für die einzelnen auf einander folgenden Nebenwurzeln einer Hauptwurzel nicht die nämliche, der Eigenwinkel kann ein rechter, ein spitzer oder ein stumpfer sein [1]).

Wir gehen nunmehr dazu über, Experimente anzustellen, welche lehren, dass es mit Hülfe des Klinostaten leicht möglich ist, das Zustandekommen heliotropischer Krümmungen von Pflanzentheilen selbst bei Lichtzutritt auszuschliessen, während die Schwerkraft in gewöhnlicher Weise auf die Untersuchungsobjecte einwirkt. Dazu stellen wir den Apparat vor einem Fenster derartig auf, dass die Rotationsaxe senkrecht gerichtet ist, die Scheibe also eine Drehung in horizontaler Ebene erfährt. Belasten wir unseren Apparat mit kleinen Blumentöpfen, in denen wir Keimlinge von Vicia oder Raphanus, also heliotropisch sehr empfindliche Gewächse, im Dunkeln zur Entwickelung gebracht haben, so treten an den langsam rotirenden Pflanzen keine heliotropischen Nutationen hervor, weil nach und nach alle Seiten der wachsenden Keimlinge bei der einseitigen Beleuchtung von den einfallenden Lichtstrahlen direct getroffen werden und niemals Zeit zu heliotropischen Krümmungen gewinnen. Zur Controle werden in Blumentöpfen cultivirte Keimlinge von Vicia oder Raphanus ohne Drehung einseitig beleuchtet. Im Laufe einiger Stunden haben diese schon heliotropische Nutationen von ansehnlicher Grösse vollzogen, während die Untersuchungsobjecte auf dem Klinostaten dem Licht nicht zugewendet sind.

Wenn eine Pflanze ohne weitere Vorsichtsmaassregeln einseitig beleuchtet wird und eine heliotropische Nutation erfolgt, so gestattet die Grösse der eingetretenen Krümmung noch keinen genauen Schluss auf die heliotropische Reactionsfähigkeit des betreffenden Organs, da die Wirkung der Schwerkraft nicht ausgeschlossen war. Ein Organ von bestimmter heliotropischer Reizbarkeit wird unter den bezeichneten Umständen thatsächlich nicht die dieser entsprechende volle heliotropische Krümmung erfahren, da sogleich, wenn eine solche eingetreten ist, die Schwerkraft ihren Einfluss geltend machen kann und bestrebt sein muss, das Organ wieder gerade zu strecken. Die wirklich zu Stande kommende Krümmungsgrösse ist demnach unter gewöhnlichen Umständen eine Resultirende aus der Wirkung des Lichts und der Gravitation. Der Klinostat bietet uns nun die Möglichkeit dar, Pflanzen einseitig zu beleuchten und dabei den Einfluss der Schwerkraft auszuschliessen, so dass die heliotropischen Nutationen in reiner Form zur Geltung kommen können. Zur allgemeinen Orientirung stellen wir das folgende Experiment an.

Wir füllen kleine Probirgläschen (ich benutzte solche von 4 Ctm. Länge und 2 Ctm. Durchmesser) mit feuchten Sägespänen an, säen einige Samen von Lepidium sativum in die letzteren ein und lassen die Keimung bei Lichtabschluss vor sich gehen. Es handelt sich dann nach einigen Tagen darum, die Gläschen mit den bis zu einem gewissen Grade entwickelten Pflänzchen auf der Korkscheibe des Klinostaten zu befestigen, nachdem wir die Oberfläche derselben noch zuvor mit mattschwarzem Papier überklebt haben. Eine kleine Korkplatte wird in ihrer Mitte mit einer Bohrung versehen und mit Hülfe zweier langer Nadeln derartig auf der Korkscheibe des Klinostaten befestigt, dass der Oberfläche dieser letzteren der Rand der kleinen Korkplatte zugekehrt ist. Wir schieben eins unserer Gläschen in die Bohrung des Korkes ein. Die hypocotylen Glieder der Keimlinge sind dann parallel zur

1) Vergl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 598.

Oberfläche der Korkscheibe des Klinostaten gerichtet. Nachdem die Glasglocke aufgesetzt worden ist, deren Mantel man mit mattschwarzem Papier beklebt hat, wird das Uhrwerk des Apparates in Gang gebracht. Der Klinostat muss vor einem Fenster so aufgestellt sein, dass die Rotationsaxe rechtwinklig, die Rotationsebene aber parallel zur Fensterscheibe liegt. Die Keimlinge wenden den einfallenden Lichtstrahlen also immer dieselbe Seite zu. Die heliotropischen Krümmungen treten alsbald an dem Untersuchungsobject hervor. Bringen wir die Gläschen nach Verlauf einiger Zeit in verticaler Stellung ins Dunkle, so verschwindet die heliotropische Nutation der Keimlinge alsbald wieder. Sie strecken sich gerade, weil unter den bezeichneten Umständen die Schwerkraft ihren richtenden Einfluss energisch auf sie geltend machen kann [1]).

Endlich ist es mit Hülfe des Klinostaten noch möglich, das Zustandekommen sowohl der heliotropischen als auch der geotropischen Nutationen an Pflanzentheilen auszuschliessen, die dem Licht ausgesetzt sind. Bei Versuchen, die man mit Hülfe des in Fig. 111 abgebildeten Apparates anstellt, wird zunächst die Oberfläche der grossen Korkscheibe sowie der Boden der Glasglocke mit feuchter Watte oder mit mehreren Lagen feuchten Fliesspapiers bedeckt. Man stellt den Apparat derartig vor einem Fenster auf, dass die horizontale Rotationsaxe parallel, die Ebene, in der die Pflanzen rotiren, aber rechtwinklig zur Fensterscheibe liegen. Die Untersuchungsobjecte (z. B. junge Blüthenschäfte von Taraxacum, Keimlinge von Phaseolus etc.) werden mit Hülfe langer Nadeln auf dem Kork befestigt. Nachdem die Glasglocke aufgesetzt worden ist, beginnt sofort die langsame Rotation. Alle Seiten der Pflanzen werden innerhalb kurzer Zeiten in gleichen Winkeln von den Lichtstrahlen getroffen; heliotropische Krümmungen können daher nicht zu Stande kommen. Ebenso ist das Auftreten geotropischer Nutationen unter den bezeichneten Umständen natürlich ausgeschlossen.

Lehrreich ist es ferner, nach dem Vorgange von Sachs [2]) das folgende Experiment anzustellen. Man besäet alle sechs Seiten eines feuchten Brotwürfels mit den Sporen von Mucor Mucedo, befestigt den Würfel mit Hülfe einer langen Nadel auf dem Klinostaten, der vor einem Fenster steht und dessen Rotationsaxe parallel zur Fensterscheibe liegt, und setzt den Apparat sofort in Gang. Bei hoher Sommertemperatur erreichen die Fruchtträger des Mucor in wenigen Tagen beträchtliche Länge, aber sie sind weder heliotropisch noch geotropisch gekrümmt, sondern stehen senkrecht auf dem Substrat. Diese Stellung der Fruchtträger ist Folge ihres negativen Hydrotropismus.

175. Experimente mit dem Centrifugalapparat.

Knight [3]) hat durch seine interessanten Versuche zuerst den Nachweis geliefert, dass Pflanzen, die einer sehr schnellen Rotation ausgesetzt werden, eigenthümliche Wachsthumserscheinungen zeigen. Wir wollen uns mit Hülfe des in Figur 112 abgebildeten Apparates, dessen Gebrauch für Demonstrationszwecke ich aus eigener Erfahrung

1) Specielleres bei Müller-Thurgau in Flora, 1876, Nr. 5.
2) Vergl. Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2, S. 217.
3) Vergl. Knight, Philosophical transact., 1806, T. 1, p. 99.

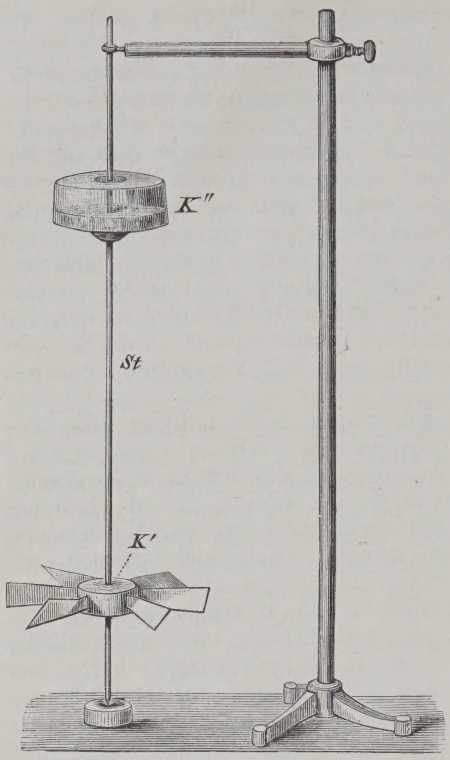


Fig. 112. Centrifugalapparat.

sehr empfehlen kann, von dieser Thatsache überzeugen. Zur Anfertigung unseres Centrifugalapparates, der von jedem leicht selbst zusammengestellt werden kann, bedürfen wir zunächst einer etwa 90 Ctm. langen, an ihrem unteren Ende zugespitzten Messingstange (Fig. 112 *St*). Diese trägt in der Nähe ihres unteren Endes den Kork *K'*, welcher wohl befestigt werden muss und in dessen Peripherie einige (z. B. 6) Messingflügel befestigt sind, deren breiten Flächen man eine geneigte Lage ertheilt. Das obere Ende der Messingstange ist durch die Mitte eines zweiten Korkes (*K''*) geführt, der einen möglichst grossen Durchmesser besitzen und ebenfalls mit der Stange fest verbunden sein muss. Dieser Kork wird vor dem Gebrauch des Apparates mit Wasser durchtränkt. Wir legen noch einige Lagen feuchten Filtrirpapiers auf seine Oberfläche und befestigen dann die Untersuchungsobjecte (z. B. Erbsenkeimlinge mit geraden Wurzeln von einigen Ctm. Länge, die in lockeren, feuchten Sägespänen zur Entwickelung gebracht wurden) mit Hülfe langer Stecknadeln auf dem Kork und zwar in der Nähe seiner Peripherie. Es wird endlich noch eine tubulirte Glasglocke oder ziemlich hohe Krystallisirschale, deren Boden bei meinen Versuchen eine mit durchnässter Baumwolle verstopfte Oeffnung besass, über die Keimlinge gedeckt, nachdem man die Innenfläche der Glocke oder Schale mit durchfeuchtetem Filtrirpapier ausgekleidet hat. Wir stellen unseren Centrifugalapparat nun sogleich in der Weise auf, dass die Messingstange (Rotationsaxe) entweder horizontal oder vertical gerichtet ist. Bei verticaler Stellung der Stange ruht ihr unteres, zugespitztes Ende auf einem an seiner Oberfläche etwas ausgehöhlten Glasklotz, während das obere Ende der Stange von einem kleinen Metallringe umfasst wird. (Vergl. Fig. 112.) Soll der Apparat in Gang gesetzt werden, so leitet man aus der Spitze eines ausgezogenen Glasrohres, das mit der Wasserleitung in Verbindung steht, einen continuirlichen Wasserstrahl auf die Flügel. Es wird dadurch eine sehr bedeutende Rotationsgeschwindigkeit der Vorrichtung erzielt, und man bemerkt bei höherer Temperatur (über 20 ° C.) schon nach Verlauf einiger Stunden den Einfluss der Centrifugalkraft auf die Wurzeln der Keimlinge deutlich. Die Wurzelspitzen wenden sich nach aussen. Es tritt dies unter allen Umständen ein, mögen die Untersuchungsobjecte in dieser oder jener Weise auf dem

Centrifugalapparat befestigt worden sein. Die Wurzeln folgen bei schneller Rotation stets dem Zuge der Centrifugalkraft, ebenso wie unter normalen Verhältnissen demjenigen der Schwerkraft. Nimmt die sich schnell drehende Rotationsaxe unseres Centrifugalapparats eine horizontale Stellung ein, so sind die zur Geltung kommenden Krümmungen der Wurzelenden allein Folge der Wirkung der Fliehkraft; bei senkrechter Stellung der Rotationsaxe wirken Centrifugalkraft und Schwerkraft gleichzeitig auf die wachsenden Wurzeln ein, was bei Beurtheilung der Resultate der Experimente wohl zu beachten ist [1]).

176. Die heliotropischen Nutationen.

Zahlreiche Pflanzentheile, insbesondere jugendliche Stengel, wenden sich, wenn sie einseitigem Lichteinfluss ausgesetzt werden, den Lichtstrahlen zu; sie sind positiv heliotropisch. Einige Pflanzentheile, z. B. die Wurzeln mancher Cruciferen, sind negativ heliotropisch; sie krümmen sich bei einseitiger Beleuchtung vom Lichte weg. Wir füllen ein kleines Glas, über dessen Mündung ein Stück engmaschigen Tülls festgebunden ist, völlig mit Brunnenwasser an, legen einige angequollene Samen des weissen Senfes (Sinapis alba) auf den Tüll und stellen das Gefäss unter eine Glasglocke, über welche wir noch einen Papprecipienten decken. Bei der im Dunkeln erfolgenden Keimung wachsen die Wurzeln gerade in das Wasser hinein; das hypocotyle Glied wächst aber senkrecht aufwärts. Um unsere Untersuchungsobjecte nun einseitigem Lichteinfluss auszusetzen, stellen wir das Gefäss mit den Keimpflanzen unter ein, bis auf einen schmalen Spalt mit mattschwarzem Papier beklebtes Becherglas oder unter einen mit einem Spalt versehenen, im Innern mit mattschwarzem Papier überzogenen Pappkasten. Nach Verlauf einiger Stunden ist schon deutlich zu sehen, dass die hypocotylen Glieder der Keimlinge sich den durch den Spalt unserer Vorrichtung eindringenden Lichtstrahlen zugewendet haben, während sich die Wurzeln im Gegentheil vom Licht wegkrümmen. In Fig. 113 ist eine Keimpflanze dargestellt, deren Hypocotyl eine positiv heliotropische, deren Wurzel aber eine negativ heliotropische Nutation erfahren hat.

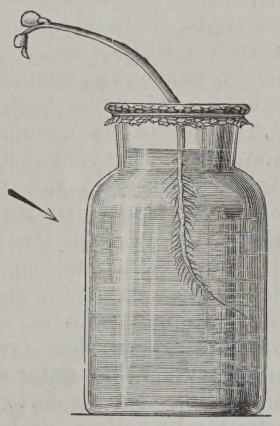


Fig. 113. Keimpflanze von Sinapis alba. Das Hypocotyl ist positiv, die Wurzel negativ heliotropisch gekrümmt.

Es existiren nur verhältnissmässig wenige Pflanzentheile, die negativ heliotropisch sind. Dem positiven Heliotropismus kommt dagegen eine sehr allgemeine Verbreitung zu. Günstige Untersuchungsobjecte sind zumal im Dunkeln erwachsene Keimlinge von Phaseolus multiflorus, Vicia sativa, Lepidium sativum. Wir cultiviren die Pflanzen in kleinen, mit lockerer Gartenerde angefüllten Blumentöpfen und setzen sie, wenn das Epicotyl respect. das Hypocotyl der Keimlinge in lebhaftem Wachsthum begriffen ist, in angegebener Weise einseitigem Lichteinfluss aus.

1) Weiteres vergl. bei Sachs in Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, B. 1, S. 607.

Die heliotropischen Nutationen machen sich alsbald geltend; sie gehen oft so weit, dass die Enden der Stengeltheile parallel zu den Strahlen des einfallenden Lichtes gerichtet werden. Uebrigens ist die heliotropische Empfindlichkeit verschiedener Pflanzentheile keineswegs die gleiche. Sehr empfindlich sind z. B. die epicotylen Glieder von Vicia sativa, während diejenigen von Phaseolus multiflorus schon nicht so energisch auf den Lichtreiz reagiren. Schneidet man junge Sprosse von Sambucus nigra ab, um sie nach dem Entblättern mit ihrer Basis in Wasser zu stellen und einseitig zu beleuchten, dann findet man, dass sie sich nur langsam dem Lichte zuwenden. Ihre heliotropische Reizbarkeit scheint auf jeden Fall geringfügig zu sein, obgleich Genaueres über dies Verhältniss erst durch eingehendere Untersuchungen unter Benutzung des Klinostaten und bei Ausschluss geotropischer Nutationen ermittelt werden kann. (Vergl. unter 174.)

Wenn in Töpfen cultivirte Keimlinge von Lepidium sativum oder andere Untersuchungsobjecte von sehr schwachem Licht getroffen werden, so krümmen sie sich nur langsam dem Licht entgegen. Unmittelbar vor einem nach Süden gelegenen Fenster erfolgte bei meinen Versuchen die heliotropische Nutation der Stengel von bis dahin im Dunkeln cultivirten Lepidiumkeimlingen bei diffusem Licht schneller als dann, wenn die Pflanzen mehrere Meter entfernt vom Fenster einseitig beleuchtet wurden. Es scheint aber, dass hohe Lichtintensität das Zustandekommen heliotropischer Nutationen wieder verlangsamt.

Werden in Töpfen cultivirte Keimlinge (ich experimentirte mit Lepidium) nach der unter 8 angegebenen Methode in einen Kasten gebracht, in welchem sie dem durch eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali hindurchgegangenen gemischten gelben Licht ausgesetzt sind, so krümmen sie sich weit langsamer den einfallenden Lichtstrahlen entgegen als dann, wenn das gemischte blaue Licht, das eine Lösung von Kupferoxydammoniak passirt hat, auf sie einwirkt. Die weniger brechbaren Strahlen des Lichts, welche für das Zustandekommen der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyllkorn in erster Linie Bedeutung besitzen, sind also für das Auftreten heliotropischer Nutationen von höchst untergeordneter Wichtigkeit.

Man kann das Experiment auch etwas modificiren, indem man z. B. Samen von Raphanus sativus in Gartenerde auslegt, die sich in kleinen Blumentöpfen befindet, und diese Töpfe von vornherein unter doppeltwandige Glasglocken (vergl. Fig. 7) stellt. Die Pflanzen, welche sich bei meinen Versuchen unter dem Einfluss des gemischten blauen Lichtes, das die Lösung des Kupferoxydammoniaks passirt hatte, entwickelten, zeigten sehr starke heliotropische Nutationen, während die Untersuchungsobjecte unter dem Einfluss des gemischten gelben Lichtes, das durch eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali gegangen war, fast völlig gerade blieben.

Wenn man nach der unter 178 angegebenen Methode Mucor Mucedo im Dunkeln auf Brot cultivirt und die heranwachsenden Pflänzchen dann einseitig beleuchtet, so krümmen sie sich dem Licht entgegen. Die einzelligen Mucorfruchtträger sind demnach positiv heliotropisch, eine Thatsache, die, wie ich S. 308 meines Lehrbuches der Pflanzenphysiologie specieller auseinandergesetzt habe, von Bedeutung für die Theorie des Heliotropismus erscheint.

Wenn sich heliotropische Nutationen geltend machen, so wächst stets in Folge des Lichtreizes die convex werdende Seite der Pflanzentheile stärker als die concav werdende. Zu heliotropischen Nutationen

sind auch nur wachsende Pflanzentheile befähigt, wie ein sehr einfaches Experiment ergiebt. Wir cultiviren Bohnenkeimlinge im Dunkeln. Hat das Epicotyl eine Länge von einigen Centimetern erreicht, so bringen wir mit Hülfe eines Pinsels feine Tuschestriche in Entfernungen von je 5 Mm. auf den Stengeln an und beleuchten unsere Untersuchungsobjecte dann einseitig. Eine heliotropische Krümmung tritt nur in der oberen, noch im Wachsthum begriffenen Region der epicotylen Glieder ein.

Wenn man etiolirte Wickenkeimlinge etwa 12 Stunden lang einseitig beleuchtet und die abgeschnittenen epicotylen Glieder dann in 15procentige Kochsalzlösung bringt, so wird die heliotropische Nutation durch die Plasmolyse nicht wieder rückgängig gemacht, weil sie durch Wachsthumsvorgänge bereits völlig fixirt worden ist. Beleuchtet man aber Wickenkeimlinge nur so lange einseitig, bis das Epicotyl schwach gekrümmt erscheint, dann vermindert sich die Krümmung durch Plasmolyse etwas, weil wenigstens derjenige Theil der ersteren, welcher auf einer Differenz der Turgorausdehnung der Zellen auf der convexen sowie concaven Seite der Pflanzentheile beruht und nicht bereits durch Wachsthumsprocesse fixirt worden ist, noch aufgehoben werden kann [1]).

177. Der Hydrotropismus der Wurzeln.

Wenn die Feuchtigkeitsverhältnisse in denjenigen Medien, in welchen sich Wurzeln entwickeln, nicht gleichmässig vertheilt sind, so führen diese Pflanzentheile hydrotropische Krümmungen aus, und zwar lässt sich nach dem Vorgange von Sachs [2]) leicht feststellen, dass die Wurzeln positiv hydrotropisch sind. Der zur Demonstration der hier in Betracht kommenden Erscheinungen erforderliche Apparat ist in Figur 114 dargestellt. Ein Reifen von starkem Zinkblech von etwa 5 Ctm. Höhe und 20 Ctm. Durchmesser wird mit weitmaschigem Tüll derartig überspannt, dass man ein Sieb erhält, dessen poröser Boden von dem Tüll gebildet wird. Man füllt das Sieb mit feuchten Sägespänen an und legt in diese angequollene Samen aus. Ich experimentirte mit den Samen von Phaseolus; man kann aber auch ebenso gut andere Samen (Pisum, Zea etc.) benutzen. Der Apparat wird an drei Bindfäden in einem Schranke oder unter einem grossen Pappkasten schief aufgehängt, so dass der Siebboden etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt ist. Die Hauptwurzeln der sich bei völligem Abschluss des Lichtes entwickelnden Keimpflanzen treten alsbald aus den Tüllmaschen hervor; sie wachsen aber nicht gerade nach abwärts, sondern ihre Spitze legt sich sofort schief an die Unterfläche des Tülls an

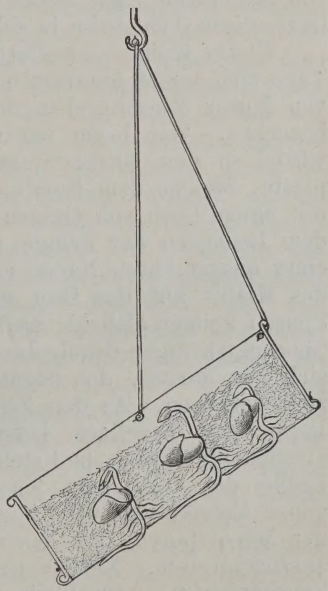


Fig. 114. Apparat zum Nachweis des Hydrotropismus der Wurzeln.

1) Zahlreiche Literaturangaben über den Heliotropismus findet man S. 303 und 304 meines Lehrbuches der Pflanzenphysiologie, Breslau 1883.

2) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 209.

und wächst nun an dieser dicht angeschmiegt abwärts fort. Die Wurzeln wenden sich, wie es auch unsere Abbildung zeigt, bei ihrem Austritt aus dem Siebboden nach derjenigen Seite hin, wo das Keimbett mit der Verticalen den kleinsten, spitzen Winkel bildet. Die eintretende Krümmung ist Folge einer verschiedenen Feuchtigkeitsvertheilung auf der dem Keimbett zu- und abgekehrten Seite der Wurzeln, indessen erscheint es besonders merkwürdig, dass gerade diejenige Seite der Wurzeln convex wird, also am energischsten wächst, welche dem feuchten Siebboden nicht zugewandt ist. Die erwähnten Krümmungen der Wurzeln unterbleiben vollkommen, wenn man den beschriebenen Apparat horizontal oder auch schief in einer völlig mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre, z. B. unter einer grossen Glasglocke, deren Wände mit Wasser benetzt sind, aufhängt. In diesem Falle wachsen die Hauptwurzeln der Keimpflanzen gerade nach abwärts. Wachsthumskrümmungen in Folge ungleichmässiger Feuchtigkeitsvertheilung können nicht eintreten; die Wurzeln folgen, wenn sie sich im dampfgesättigten Raum bei Ausschluss des Lichtes entwickeln, allein dem richtenden Einfluss der Schwerkraft.

178. Der Hydrotropismus von Mucor Mucedo.

Den Mucor Mucedo lernten wir bereits unter 33 kennen. Die Sporangienträger der Mucorarten zeichnen sich, wie Wortmann[1]) feststellte, dadurch aus, dass sie negativ hydrotropisch sind. Entwickeln sie sich in der Nähe eines feuchten Körpers, so wenden sie sich daher von diesem ab. Ich habe mich davon überzeugt, dass es leicht gelingt, diese Thatsache in folgender Weise festzustellen.

Etwas Kuh- oder Pferdemist bleibt unter einer Glasglocke einige Tage sich selbst überlassen. Es entwickelt sich eine üppige Vegetation von Mucor Mucedo, eben derjenige Pilz, den wir für unser Experiment brauchen. Wir legen einen kleinen, mit Wasser durchtränkten Brotwürfel in eine flache Glasschale und bedecken diese mit einer Glasplatte, welche dem Rande der Schale dicht aufliegt und in der Mitte mit einem Loch von einigen Millimetern Durchmesser versehen ist. Vor dem Bedecken der Schale mit der Glasplatte bringen wir mit Hülfe einer ausgeglühten Nadel einige reife Sporangien der Mucorvegetation des Mistes auf das Brot und vertheilen die Sporen auf diesem. Die Sporen keimen alsbald; nach ein oder zwei Tagen wachsen schon einige Sporangienträger durch das Loch der Glasplatte hervor, und es handelt sich nun darum, das negativ hydrotropische Verhalten dieser Organe zu constatiren. Zu dem Zweck wird an einem Kork ein Streifen dicker Pappe mit Siegellack befestigt. Dann durchtränkt man den Pappstreifen mit Wasser und stellt ihn in unmittelbarster Nähe der aus dem Loche der Glasplatte hervorwachsenden Sporangienträger auf. Die ganze Vorrichtung wird jetzt, wie auch schon früher nach der Aussaat der Mucorsporen, mit einem Papprecipienten bedeckt, um das Licht auszuschliessen. Nach Verlauf von etwa 24 Stunden hat die Länge der Sporangienträger erheblich zugenommen, und es ist leicht wahrzunehmen, dass sie nicht senkrecht emporgewachsen sind. Sie erscheinen vielmehr gekrümmt; ihre convexe Seite ist dem feuchten Pappstreifen zugewandt.

1) Vgl. Wortmann, Botanische Zeitung, 1881.

179. Die durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse und durch Temperaturschwankungen inducirten Bewegungen der Laubblätter und Blüthentheile.

Es existiren zahlreiche Laub- und Blumenblätter, welche, wie die experimentellen Untersuchungen mehrerer Physiologen ergeben haben, nur in geringem Grade durch Wachsthumsbewegungen auf Temperaturschwankungen, dagegen in ausgezeichneter Weise auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse reagiren. Wir wollen uns zunächst bemühen, einige Erscheinungen, um die es sich hier handelt, genauer festzustellen.

Wir beobachten im Freien wachsende Exemplare von Impatiens parviflora, Chenopodium bonus Henricus und Mirabilis jalapa. Die für uns Interesse besitzenden Bewegungserscheinungen treten in den jüngeren, noch nicht ausgewachsenen Laubblättern deutlich hervor. Am Tage sind diese Blätter mehr oder minder horizontal gestellt; nachts nehmen sie dagegen eine andere Lage ein. Bei Chenopodium und zumal bei Mirabilis heben sich die Blätter am Abend, während sie sich bei Impatiens zu dieser Zeit senken und daher mit Eintritt der Dunkelheit aus einer horizontalen in eine verticale Lage übergehen. Am folgenden Tage kehren die Blätter wieder in ihre Lichtstellung zurück.

Ueber die durch Beleuchtungswechsel inducirten Wachsthumsbewegungen der Blüthen stellte ich, meistens unter Benutzung im Freien wachsender Pflanzen, folgende Beobachtungen an, welche man wiederholen möge.

Ich constatirte, dass sich die Blüthenköpfe der meisten Exemplare von Taraxacum officinale an sonnigen Tagen zu Anfang Mai zwischen 7—8 Uhr morgens öffnen, um sich nachmittags zwischen 4—5 Uhr wieder zu schliessen. Die Blüthen von Tradescantia bleiben tags über geöffnet, wenn der Himmel bedeckt ist; bei wolkenlosem Himmel schliessen sie sich aber morgens um 10 Uhr. Die Blüthenköpfe von Tragopogon pratensis sind morgens offen. Im Juni schliessen sie sich aber bei Sonnenschein um 9 Uhr, bei bedecktem Himmel etwa um 11 Uhr. Abends schliessen sich die Blüthen von Adonis vernalis sowie die Blüthenköpfe von Bellis perennis und Leontodon hastilis (vgl. Fig. 115 und 116, in denen Blüthenschäfte von Leontodon mit einem geschlossenen und einem offenen Blüthenkopfe dargestellt sind), um sich am nächsten Morgen wieder zu öffnen. Ich fand, dass sich die Blüthen von Adonis Ende April um 3 Uhr nachmittags schliessen, während das Schliessen der Blüthenköpfe von Bellisexemplaren, die dicht daneben standen, erst $1^1/_2$ Stunden später erfolgte. Ich brachte abgeschnittene und in Wasser gestellte Blüthenschäfte von Leontodon hastilis am Tage ins Dunkle. Die Blüthenköpfe schlossen sich abends, öffneten sich aber wieder am folgenden Tage, trotzdem die Untersuchungsobjecte constant verdunkelt blieben, und zeigten am Abend abermals, freilich keine sehr ausgiebigen, Schliessungsbewegungen. Am nächsten Tage wurden die Blüthenschäfte aufs Neue dem Tageslicht ausgesetzt. Am Abend dieses Tages schlossen sich die Blüthenköpfe in durchaus normaler Weise. Die Resultate dieser Experimente lehren, dass die Einzelblüthen der Blüthenköpfe von Leontodon hastilis — und ihnen analog werden sich auch manche andere Blüthen verhalten — wenn sie constanter Dunkelheit ausgesetzt werden, Nachwirkungsbewegungen zeigen, welche ein Oeffnen der Köpfe zur Tageszeit und ein

Fig. 115.

Fig. 116.

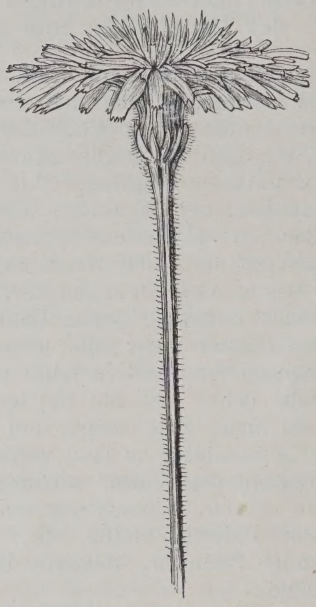


Fig. 115. Blüthenschaft von Leontodon hastilis mit geschlossenem Blüthenstand.
Fig. 116. Blüthenschaft von Leontodon hastilis mit geöffnetem Blüthenstand.

Schliessen derselben zur Nachtzeit herbeiführen. Freilich dauern diese Nachwirkungsbewegungen nicht lange fort. Die Blüthen werden nach einiger Zeit bewegungslos (dunkelstarr), können aber wieder durch erneute Beleuchtung in den phototonischen Zustand zurückversetzt werden.

Nach dem Gesagten ist nun klar, dass die unter normalen Verhältnissen, d. h. bei Wechsel von Tag und Nacht, stattfindenden periodischen Bewegungen der Laubblätter und Blüthen nicht allein unmittelbare Folge des Beleuchtungswechsels sind. Vielmehr combiniren sich die durch diesen letzteren erzielten paratonischen Wirkungen bei dem Zustandekommen der Tagesperiode mit Nachwirkungsbewegungen, die freilich ihren letzten Grund auch nur in dem Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse haben. Dieser Umstand macht die Thatsache auch verständlich, von deren Richtigkeit ich mich überzeugte, dass sich z. B. Blüthenköpfe von Leontodon hastilis, die am Vormittag ins Dunkle gestellt werden, abends nur einige Zeit früher als solche schliessen, die am Tage beleuchtet gewesen sind. Die paratonische Wirkung der Verdunkelung ist im Resultat des Experimentes freilich zu erkennen, aber die Blüthenköpfe schliessen sich in Folge des Vorhandenseins der Nachwirkungen erst dann, wenn die Verfinsterung längere Zeit gedauert hat. In anderen Fällen können übrigens die paratonischen Wirkungen viel ansehnlicher werden.

Die durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse inducirten Bewegungen der Laub- sowie Blumenblätter werden, wie Pfeffer[1])

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen, 1873.

mit aller Sicherheit nachwies, durch Wachsthumsprocesse herbeigeführt. Der Beleuchtungswechsel wirkt gleichsinnig auf das Wachsthum der die Bewegungen vermittelnden basalen Partien der Blattgebilde ein, aber die antagonistischen Gewebecomplexe der Organe werden ungleich schnell afficirt, und dadurch kommen die hier behandelten nyctitropischen Bewegungen zu Stande. Die biologische Bedeutung der nächtlichen Verticalstellung vieler Laubblätter ist offenbar darin zu suchen, dass durch dieselbe einer zu starken Wärmeausstrahlung, die leicht von nachtheiligen Folgen für die Pflanzen sein könnte, vorgebeugt wird, während das Oeffnen und Schliessen der Blüthen zu den Bestäubungsverhältnissen in Beziehung steht.

In ähnlicher Weise wie durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse werden an verschiedenen Pflanzentheilen lebhafte Bewegungen durch Temperaturschwankungen hervorgerufen. Wir haben es hier zumal mit Blüthen zu thun, und als ausgezeichnete Untersuchungsobjecte sind blühende Exemplare von Tulipa gesneriana, vor allem aber solche von Crocus vernus (weiss blühende Varietät) zu nennen. Ich brachte in Blumentöpfen cultivirte Exemplare dieser letzteren Pflanze aus einem Zimmer, in welchem eine Temperatur von 19° C. herrschte, in ein solches von 5° C. Die zunächst geöffneten Blüthen schlossen sich alsbald. Wurden Crocuspflanzen mit geschlossenen Blüthen aus einem Zimmer, in welchem eine Temperatur von 5° C. herrschte, in ein solches von 19° C. gebracht, so öffneten sich die Blüthen schnell. Die Schliessungsbewegungen der Blumenblätter bei der Abkühlung einer- und die Oeffnungsbewegungen bei der Erwärmung andererseits gingen in meinen Versuchen so lebhaft vor sich, dass der Beginn derselben, wenn der Temperaturwechsel erfolgt war, bereits nach Verlauf einiger Minuten mit dem unbewaffneten Auge constatirt werden konnte. Crocusblüthen reagiren übrigens auch schon auf sehr geringe Temperaturschwankungen. Die durch Temperaturschwankungen inducirten Bewegungen machen sich sowohl bei Zutritt des Lichtes als auch in constanter Finsterniss geltend.

180. Die Darwin'sche Krümmung etc.

Wir bringen Samen von Vicia Faba in Sägespänen zur Keimung und lassen die Untersuchungsobjecte so lange in dem Keimbett liegen, bis die Wurzeln die Länge von einigen Centimetern erreicht haben. Es kommt nun darauf an, die Wurzelspitzen der Keimlinge einseitig zu verletzen, und dies geschieht nach meinen Erfahrungen in bequemster Weise dadurch, dass wir eine Seite der Wurzeln unter Benutzung kleiner Stückchen Höllensteins betupfen. Es ist darauf zu achten, dass nur eine kurze, etwa 1,5 Mm. lange Strecke der Wurzelspitze mit dem Höllenstein in Berührung gelangt. Nach demjenigen, was unter 155 gesagt worden ist, erscheint es nicht gleichgültig, welche Wurzelseite den Reiz empfängt, und es ist am meisten zu empfehlen, weder die vordere, noch die hintere Wurzelseite, sondern eine der Flanken der Wurzel zu reizen. Die Untersuchungsobjecte werden nun in der Weise, wie es unter 152 angegeben worden ist, in Glascylindern befestigt und sich im Dunkeln selbst überlassen. Nach 12—24 Stunden findet man, dass diejenige Wurzelflanke, welche mit Höllenstein betupft worden war, convex gekrümmt ist. Auf der gereizten Seite ist das Wachsthum in der wachsthumsfähigen Region der Wurzel beträchtlich lebhafter als auf

der antagonistischen Seite, so dass eine einseitige Verletzung der Wurzelspitze eine eigenthümliche Nutationserscheinung zur Folge hat, die man als Darwin'sche Krümmung bezeichnet. Wird die Wurzelspitze nicht durch Höllenstein, sondern auf andere Weise verletzt, so treten ebenfalls Nutationen hervor; es ist aber von biologischer Bedeutung, dass sich die Wurzeln in Folge derselben stets von den als Reizursache wirkenden, die Verletzung bedingenden Körpern wegwenden [1]).

In einem Gegensatz hierzu stehen Nutationen der Wurzeln, die zu Stande kommen, wenn nicht die Wurzelspitze, sondern die in lebhaftem Wachsthum begriffene Wurzelregion gereizt wird. Die Wurzeln wenden sich dann, ähnlich wie die Ranken, den als Reizursache wirkenden Körpern zu. Einige Erbsenkeimlinge werden auf Nadeln aufgespiesst und unter einer Glasglocke, die durch Wasser abgesperrt ist, derartig aufgestellt, dass ihre etwa 2 Ctm. langen Wurzeln horizontal gerichtet sind. Neben jeder Keimpflanze bringen wir noch eine dünne Nadel an, welche die Wurzel in ihrer am lebhaftesten wachsenden Region (also etwa 3 Mm. entfernt von der Spitze) berührt. Der Contact wirkt, ebenso wie bei den Ranken, als Reiz, und indem die nicht berührte Wurzelseite in Folge lebhafteren Wachsthums convex wird, krümmt sich die Wurzel im Laufe einiger Zeit der Nadel zu.

Eigenthümliche Reizwirkungen an Pflanzentheilen ruft, wie hier kurz erwähnt werden mag, der Stich von Insekten hervor. Die zahllosen, so sehr verschiedenartigen Gallen, welchen man auf Blättern begegnet, entstehen z. B. auf diese Weise, und es ist daher nicht ohne physiologisches Interesse, eine Galle genauer zu untersuchen.

Auf den Blättern zahlreicher Weidenarten gewahrt man im Laufe des Sommers oft einer kleinen Bohne ähnlich sehende, fleischige, auf beiden Blattseiten vorragende Gallen, die durch den Stich von Blattwespen (Nematus Vallisnerii) entstehen. Die Wespen legen ihre Eier in das Gewebe der ganz jungen Blätter, und die aus dem Ei auskriechende Raupe entwickelt sich in der eine relativ beträchtliche Grösse erlangenden Galle. Der durch den Stich des Insekts gegebene Reiz ruft die Hypertrophie des Blattgewebes hervor, die sich uns in der Gallenbildung darstellt. Die mikroskopische Untersuchung zarter Querschnitte lehrt, dass die Nematusgalle der Hauptsache nach aus kleinzelligem Gewebe, dessen Elemente nahezu isodiametrisch sind, besteht. Diesem Gewebe sind aber an verschiedenen Stellen in radialer Richtung gestreckte Zellen eingelagert. Bemerkt sei noch, dass das Gewebe in der Mitte der Galle kleinzelliger als in den peripherischen Theilen derselben ist.

III. Das Winden der Ranken und Schlingpflanzen.

181. Allgemeines über das Winden der Schlingpflanzen.

Wenn man einen um eine Stütze gewundenen Hopfenstengel betrachtet, so findet man, dass die Windungen desselben stets von rechts

1) Vergl. Darwin, Das Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881, S. 109, und Wiesner, Bewegungsvermögen der Pflanzen, S. 139.

unten nach links oben verlaufen. Der Hopfen ist eine typisch rechts windende Pflanze[1]). Es sei an dieser Stelle auch bemerkt, dass die Stengel sowie Blattstiele des Hopfens mit eigenthümlich gestalteten Anhangsgebilden versehen sind, denen die Function von Haft- oder Klammerorganen zukommt, indem sie zur weiteren Befestigung der Pflanzen dienen. Zieht man z. B. vom Blattstiel von Humulus Epidermisstückchen ab und untersucht sie mikroskopisch, so zeigt sich, dass auf der Oberhaut warzenförmige Emergenzen sitzen. Jede derselben trägt an ihrem Ende ein ankerartig gestaltetes Haar, das ein vorzügliches Haftorgan darstellt.

Einige nicht zu kleine Blumentöpfe werden mit gut durchfeuchteter Gartenerde angefüllt, und in diese angequollene Samen von Phaseolus multiflorus ausgelegt. Es ist zweckmässig, jeden Blumentopf mit mehreren Samen zu beschicken, um später die schwächlicheren Pflanzen zu beseitigen, und nur ein kräftiges Exemplar in jedem Culturgefässe zu weiterer Entwickelung zu bringen. Wenn das dritte Internodium sich auszubilden beginnt, so stellt man lange Holzstäbe in unmittelbare Nähe der Pflanzen. Diese umwinden die Stäbe, aber die Bohne ist nicht wie der Hopfen eine rechts, sondern eine links windende Pflanze. Die Windungen verlaufen von links unten nach rechts oben. Unsere Fig. 117 zeigt dies deutlich; ferner lässt dieselbe erkennen, worauf wir aber erst unter 184 genauer eingehen, dass die älteren Windungen enger sind und steiler emporsteigen als die jüngeren. Diese Erscheinungen treten zumal deutlich hervor, wenn die Stützen, welche man benutzt, dünn sind, z. B. bei Experimenten mit Phaseolus eine Dicke von wenigen Millimetern nicht überschreiten. Es ist überhaupt nicht uninteressant, Schlingpflanzen zu beobachten, die sich um Stützen von verschiedener Dicke gewunden haben. Ich liess z. B. Bohnenstengel um gespannte Bindfäden, Drähte von 1 Mm. Durchmesser sowie Holzstäbe von 4, 16 und selbst 30 Mm. Durchmesser winden.

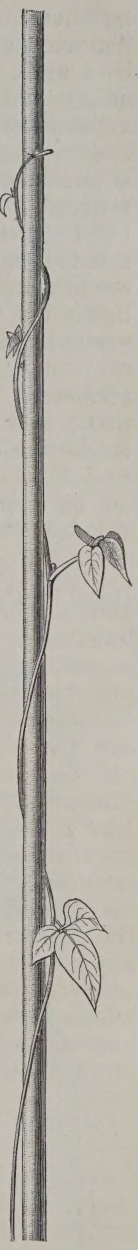


Fig. 117. Windender Spross von Phaseolus multiflorus.

182. Die rotirende Nutation.

Von grösster Wichtigkeit ist es, wenn man die Erscheinungen des Windens der Schlingpflanzen genauer verfolgen will, sich mit der rotirenden Nutation zum Schlingen befähigter Sprosse bekannt zu machen. Wir legen Samen von Phaseolus multiflorus in Gartenerde, mit der

1) In der Botanik verbindet man herkömmlicher Weise mit den Ausdrücken „rechts windend“ und „links windend“ die entgegengesetzten Vorstellungen wie in der Mechanik.

ziemlich grosse Blumentöpfe angefüllt sind, aus. Die ersten Internodien der jungen Pflanzen zeigen das Phänomen der rotirenden Nutation nicht oder nicht deutlich, wohl aber die folgenden. Die langen Sprossgipfel neigen in Folge ihres eigenen Gewichtes seitwärts über, und wenn man sie genauer beobachtet, so ergiebt sich, dass sie sich nicht in Ruhe befinden, sondern ununterbrochen in Bewegung begriffen sind, wodurch der Gipfel in einem Kreise herumgeführt wird. Die Geschwindigkeit dieser rotirenden Nutation ist bei verschiedenen Temperaturen nicht dieselbe; unter günstigen Umständen durchläuft der Gipfel von Phaseoluspflanzen den ganzen Kreis in $1^1/_2$—2 Stunden. Die in Rede stehende Nutationserscheinung kommt dadurch zu Stande, dass die verschiedenen Längslinien an Umfang des Sprosses fortschreitend stärker in die Länge wachsen als die gegenüberliegenden Seiten. Wenn man daher auf die convexe Seite eines seitwärts überhängenden Sprosses einer Schlingpflanze, z. B. Phaseolus, einen Strich als Marke mit Tusche aufträgt, so findet man diesen Strich später, nachdem der Sprossgipfel einen halben Kreis beschrieben hat, auf der concaven Seite des Stengels wieder.

183. Die freien Windungen.

Man schneide recht kräftige, 20—30 Ctm. lange Sprossenden von Ipomoea purpurea oder von Phaseolus, die im Freien erwachsen, dabei möglichst gerade sind und noch keine Stütze erfasst haben, ab. Die Untersuchungsobjecte werden nun mit ihrem unteren Ende in ein mit Wasser angefülltes kleines Glas gestellt und unter eine grosse Glasglocke oder in ein grosses Glasgefäss gebracht, dessen Oeffnung mit einer Pappscheibe bedeckt ist. Um die Luft, welche die Pflanzentheile umgiebt, recht feucht zu erhalten, benetzt man die Wandungen der Glasglocke oder des Glasgefässes mit Wasser. Unter den bezeichneten Umständen wachsen die Sprosse weiter und nach 2—3 Tagen haben sich einige freie Windungen gebildet [1]). Ich habe dies Ergebniss bei Experimenten mit Sprossenden von Phaseolus und Ipomoea purpurea erhalten. Die letztere Pflanze eignet sich besonders gut zum Versuch, und ich sah freie Windungen entstehen, wenn die Untersuchungsobjecte im Dunkeln verweilten oder dem diffusen Tageslicht ausgesetzt waren. Die nebenstehende Abbildung (Fig. 118) stellt einen Ipomoeaspross dar, der freie Windungen gebildet hatte. Man erkennt, was ich in anderen Fällen übrigens noch deutlicher hervortreten sah, dass die weiter nach abwärts liegenden, also älteren Theile des gewundenen Stengels steiler als dessen jüngere Theile gerichtet sind, eine Erscheinung, auf deren Ursache wir noch zurückkommen.

Fig. 118. Spross von Ipomoea purpurea mit freien Windungen.

1) Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 821.

184. Die Mechanik des Windens der Schlingpflanzen.

Wenn das Ende des Stengels einer Schlingpflanze durch die rotirende Nutation im Kreise herumgeführt wird, so kann dasselbe offenbar leicht mit einer geeigneten Stütze in Berührung gelangen. Die Nutation dauert nun fort, aber für die Ausbildung sowie die Form der entstehenden Windungen ist noch ein zweiter in verticaler Richtung wirkender Factor von Bedeutung, nämlich das negativ geotropische Verhalten der windenden Stengel. Dass z. B. Sprosse von Humulus sowie Phaseolus stark negativ geotropisch sind, lässt sich leicht beweisen, indem man Sprossgipfel dieser Pflanzen in der Art, wie es unter 171 angegeben worden ist, horizontal in Sand steckt. Die Sprosse zeigen alsbald eine energische Aufwärtskrümmung.

Für das Verständniss der Phänomene, die beim Winden beobachtet werden können, ist es vor allem wichtig, die rotirende Nutation sowie das negativ geotropische Verhalten der Schlingpflanzen zu berücksichtigen. Diese beiden Momente bedingen es, dass windende Stengel um Stützen in einer Schraubenlinie herumlaufen, und sie reichen auch hin, um die Erscheinung zu erklären, die wir sowohl bei freien Windungen als auch bei Windungen um Stützen beobachteten, dass die obersten Windungen flach und relativ weit, die unteren aber steiler sind. Die Form der ersteren wird wesentlich durch die fortdauernd zur Geltung kommende rotirende Nutation bestimmt; für die Form der letzteren ist zudem noch das negativ geotropische Verhalten der Stengel von sehr maassgebender Bedeutung. Es ist nämlich zu berücksichtigen, dass die Stengel der Schlingpflanzen, wenn Windungen an ihnen hervorgetreten sind, noch längere Zeit fortwachsen, und sie werden dabei in Folge der Wirkung der Schwerkraft geotropisch aufgerichtet. Ist eine Stütze vorhanden, so kann eine völlige Geradestreckung der älteren Stengeltheile nicht zu Stande kommen, denn die Stütze tritt ja hindernd in den Weg. Die windenden Stengel legen sich den Stützen nun in einer Schraubenlinie dicht an, und der Neigungswinkel der Sprossaxen wird schliesslich ein um so geringerer sein, je dünner die Stütze ist. Beim Winden um dicke Stützen erfolgt das Anlegen der älteren Stengeltheile an dieselben hingegen früher; die Aufrichtung der Internodien ist alsbald gehindert, und die fertigen Windungen erscheinen daher relativ flach.

Auffallend ist vielleicht auf den ersten Blick die Thatsache, dass freie Windungen an überhängenden Sprossenden der Schlingpflanzen, die sich unter durchaus normalen Verhältnissen im Freien entwickeln, nur selten in typischer Form hervortreten, während sie an abgeschnittenen Stengelstücken, wie wir gesehen haben, leicht entstehen. Indessen bei genauerer Ueberlegung wird die Sache alsbald klar. Die Wachsthumsfähigkeit abgeschnittener Sprosse ist auf jeden Fall eine erheblich geschwächte. Freie Windungen können freilich durch die mit dem Wachsthum verbundene rotirende Nutation zu Stande kommen, aber die geotropische Aufrichtung der Internodien macht sich nur in unvollkommenem Maasse geltend. Die in der Natur kräftig wachsenden und über die Stützen hinausragenden Sprossenden der Schlingpflanzen reagiren meistens so lebhaft auf die Einwirkung der Gravitation, dass dadurch gewöhnlich eine fast völlige Geradestreckung ihrer Internodien herbeigeführt wird und somit keine bleibenden freien Windungen entstehen können.

Wir stellen nun noch verschiedene Experimente an, deren Resultate dazu geeignet sind, uns weitere Einsicht in die Mechanik des Windens der Schlingpflanzen zu gewähren.

Neben eine in einem Blumentopf oder in freiem Boden zur Entwickelung gelangte junge recht kräftige Pflanze von Phaseolus multiflorus wird eine Stütze von 30 Mm. Durchmesser gestellt. Nachdem die Stütze einige Male vom Stengel umwunden ist, wird sie entfernt und durch eine dünne von nur wenigen Millimetern Durchmesser ersetzt. Die Windungen liegen dieser dünnen Stütze natürlich zunächst nicht an. Man beobachtet jetzt, dass das obere fortwachsende Ende des Bohnenstengels neue Windungen bildet, aber für uns ist von besonderer Wichtigkeit, dass die jüngeren derjenigen Windungen, welche schon um die dicke Stütze gebildet worden waren, im Laufe von 1 bis 2 Tagen steiler werden und sich der dünnen Stütze dicht anschmiegen. Diese Erscheinung ist Folge des in den betreffenden Stengeltheilen noch fortdauernden Wachsthums und der damit zu Stande kommenden geotropischen Aufrichtung derselben. Die älteren, schon um die dicke Stütze gebildeten Windungen bleiben hingegen relativ flach; sie erfahren keine Veränderungen mehr, weil das Wachsthum der älteren Internodien bereits erloschen ist.

Ein kräftiges, in einem Blumentopf erwachsenes Exemplar von Phaseolus, das einige Windungen um eine Stütze gebildet hat, wird in umgekehrter Lage, d. h. mit der Spitze nach abwärts, aufgestellt, nachdem man auf die Erde im Topfe, um das Herausfallen des Erdballens zu verhindern, einige Sperrhölzer gelegt hat. Es erfolgt alsbald ein Abwickeln der jüngeren, noch lebhaft wachsenden Theile des Stengels der Bohnenpflanze von der Stütze, und das Stengelende richtet sich empor. Dies Resultat des Experiments wird nur verständlich, wenn man bedenkt, dass in jeder noch wachsenden Querzone eines Bohnenstengels durch den gleichzeitigen Einfluss des Geotropismus und der rotirenden Nutation stets die Tendenz vorhanden ist, in Richtung einer links aufsteigenden Schraubenwindung weiter zu wachsen. Nach dem Umkehren einer Bohnenpflanze muss daher die der Stütze zugewandte concave Seite des Stengels convex werden, und dies hat ein Abwickeln der noch wachsenden Partien der Internodien zur Folge.

Sehr lehrreich ist ferner das folgende Experiment. An der Endknospe einer jungen Bohnenpflanze, die in einem Blumentopfe cultivirt wird und bereits einige Internodien gebildet hat, wird ein feiner Faden befestigt, der über eine senkrecht über der Pflanze angebrachte, leicht bewegliche Rolle läuft. An das noch freie Fadenende hängt man ein kleines Gewicht (bei meinen Versuchen benutzte ich 1 Grm.), das eben hinreicht, um das Umsinken des Bohnenstengels zu verhüten. Nach Verlauf von 1 bis 2 Tagen hat der Gipfel der Pflanze einige freie Windungen gebildet, die aber, während der Stengel an seiner Spitze fortwächst, allmählich wieder verschwinden, da der Geotropismus, wie auch unter anderen Umständen, schliesslich eine Geradestreckung der Indernodien herbeiführt. Hat man vor Beginn des Experiments auf einer Längsseite des Stengels mit Tusche feine Punkte in geringer Entfernung von einander aufgetragen, so ergiebt sich, dass diese Punkte nach erfolgter Geradestreckung der zuerst gebildeten freien Windungen nicht mehr in einer geraden Linie liegen, sondern in Richtung einer links aufsteigenden Schraubenlinie angeordnet sind. Es ist also an unserem Untersuchungsobject eine homodrome Torsion hervorgetreten,

eine Erscheinung, die man sehr oft an schlingenden Stengeln beobachten kann. Die Entstehung dieser Torsionen hängt auf das Innigste mit der Bildung der freien Windungen an unserem Untersuchungsobjecte zusammen. Wenn die Windungen durch Geradestreckung des Stengels verschwinden, so verwandeln sie sich eben in eine homodrome Torsion, d. h. in eine Torsion, die mit der Richtung, in welcher die Pflanze windet, gleichläuft [1]).

185. Experimente über das Ranken der Cucurbitaceen.

Es giebt viele Gewächse, die sehr verschiedenen Familien angehören, welche mit Ranken ausgerüstet sind. Diese fadenförmigen Organe dienen den Pflanzen zum Klettern. Sie vermögen sich an Stützen zu befestigen und verhüten dadurch das Umsinken der Gewächse.

Will man sich mit den merkwürdigen Eigenschaften der Ranken vertraut machen, so ist es sehr bequem, eine Reihe von Cucurbitaceen, zumal Cyclanthera explodens und Sicyos angulatus als Untersuchungsobjecte zu verwenden. Die erstere Pflanze cultivire man in nicht zu kleinen Blumentöpfen, die letztere im freien Lande. Die beiden genannten Gewächse werden aus Samen erzogen. Haben die Pflanzen eine gewisse Grösse erreicht, so ist es nothwendig, ihnen Stützen zur Befestigung der Ranken darzubieten.

Beobachtet man ein kräftig entwickeltes Individuum von Cyclanthera explodens, so zeigt sich zunächst, dass die nicht an Stützen befestigten, geradegestreckten Ranken fortwährend in Bewegung begriffen sind. Sie werden im Raume in einem Kreise herumgeführt, eine Erscheinung, die wesentlich durch die rotirende Nutation der die Ranken tragenden Sprosse zu Stande kommt. Dieser Nutationsform haben wir bei Gelegenheit unserer Erörterungen über das Winden der Schlingpflanzen speciellere Aufmerksamkeit gewidmet; hier sei nur bemerkt, dass sie durch eigenthümliche Wachsthumsverhältnisse der Sprosse bedingt wird. Ich sah, dass eine Ranke von Cyclanthera einen vollen Kreis bei hoher Sommertemperatur (über 20° C.) im Laufe einer Stunde beschrieb. Aber nicht allein diejenigen Sprosse, welche die Ranken tragen, auch die Ranken selbst sind bei manchen Pflanzen befähigt, rotirende Nutationen zu vollführen. Diese Bewegungen treten in reiner Form hervor, wenn man die Nutationen der Sprosse ausschliesst, indem man dieselben an der Insertionsstelle der Ranken an einem Stab befestigt. Die biologische Bedeutung der Nutationen ist eine recht erhebliche. Die wachsenden Ranken werden durch sie im Raume herumgeführt, und sie werden dabei leicht mit geeigneten Stützen in Contact gerathen, an denen sie sich befestigen können.

Will man die Reizbarkeit der Ranken genauer studiren, so empfiehlt es sich besonders, die Ranken von Sycios angulatus als Untersuchungsobjecte zu wählen, und ich habe mit denselben denn auch sehr zahl-

1) Die neueren Untersuchungen über Schlingpflanzen finden sich namentlich in den folgenden Abhandlungen niedergelegt: H. DE VRIES, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1; SCHWENDENER, Monatsberichte d. Berliner Akademie, 1881, December; AMBRONN, Berichte d. sächsischen Gesellschaft d. Wissenschaften; WORTMANN, Botan. Zeitung, 1886. Die Erfahrungen, welche ich bei dem Studium der Erscheinungen des Windens der Schlingpflanzen sammelte, stimmen in allen wesentlichen Punkten mit denjenigen von SACHS und WORTMANN überein.

reiche Experimente angestellt. Im jugendlichen Zustande sind die einzelnen Zweige dieser Ranken spiralig eingerollt. Haben sie sich aber ausgestreckt, so kommt ihnen ein sehr hoher Grad von Empfindlichkeit zu. Bei niederer Temperatur ist die Reizbarkeit natürlich eine geringere als bei recht warmem Wetter. Zieht man an einem warmen Tage einen gerade gestreckten Rankenzweig vorsichtig zwischen den Fingern hindurch, so krümmt sich derselbe alsbald bedeutend, und die zur Geltung kommende Bewegung ist eine so lebhafte, dass man sie mit dem Auge direct verfolgen kann. Fig. 119 stellt eine Ranke von

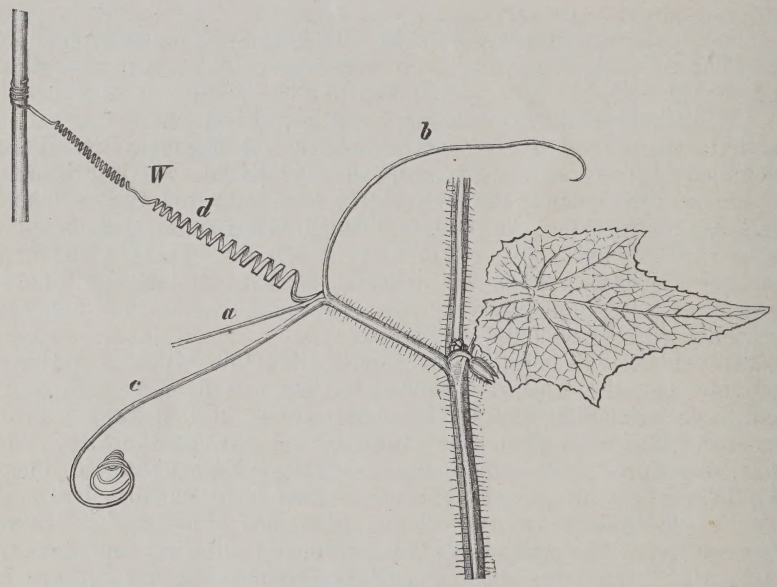


Fig. 119. Theil eines Sprosses von Sicyos angulatus mit einer Ranke.

Sicyos angulatus dar. Der Rankenzweig *a* ist nicht gereizt, daher noch gerade gestreckt. Der Zweig *b* hat in Folge schwacher Reizung eine unbedeutende Krümmung erfahren, während der Rankentheil *c* stärker gereizt worden ist, daher auch starke Krümmungen erfahren hat. Auf den Rankenzweig *d* kommen wir weiter unten zurück. Hat man eine Ranke von Sicyos durch vorübergehende Berührung mit einem festen Körper veranlasst, sich zu krümmen, und überlässt man die Ranke nunmehr sich selbst, so streckt sie sich wieder vollkommen gerade und ist abermals für Berührung empfindlich. Bei hoher Sommertemperatur geht die Geradestreckung der Sicyosranken relativ schnell vor sich, und auch bei Experimenten mit Cyclantheraranken fand ich, dass sich eine in Folge eines Reizes stark gekrümmte Ranke bei etwa 22 ° C. schon nach Verlauf von einer Stunde wieder ausgestreckt hatte und abermals reizempfindlich war.

Wird ein Zweig einer Sicyosranke an verschiedenen Punkten mit einem dünnen Holzstäbchen berührt, so findet man leicht, dass die Reizbarkeit des Organs besonders gross im vorderen Drittel ist, von hier aus nach der Basis zu aber erheblich abnimmt. Ferner kann man

feststellen, dass in der sensiblen Zone nur eine Flanke der Rankenzweige auf den Contactreiz reagirt, und zwar ist allein diejenige Seite der Sicyosranken für Berührung empfindlich, welche, wenn die Rankenzweige noch sehr jung und daher noch spiralig eingerollt sind, die Convexität bildet. Es sei hier übrigens bemerkt, dass es auch Pflanzen giebt, deren Ranken nicht nur auf einer, sondern auf allen Seiten reizbar sind. Will man sich von dem hohen Grade der Empfindlichkeit der Sicyos- oder Cyclantheraranken specieller überzeugen, so ist es zu empfehlen, Stückchen baumwollenen Garnes oder kleine Papierreiter von wenigen Milligrm. Gewicht sanft auf die Rankenspitzen zu bringen. Es treten sehr schnell deutliche Krümmungen hervor. Andere Ranken, z. B. diejenigen von Vitis, welche wir weiter unten genauer untersuchen wollen, sind weit weniger empfindlich als die hier erwähnten; Belastungen mit Körpern von wenigen Milligrm. Gewicht bringen sie überhaupt noch gar nicht zur Einkrümmung.

Von principieller Wichtigkeit ist die durch geeignete Experimente leicht festzustellende Thatsache, dass die Ranken nicht schlechthin für Druck, Stoss oder Berührung empfindlich sind, sondern dass nur eine bestimmte Form der Berührung als Reiz wirkt [1]). Werden rankentragende Sicyossprosse kräftig, aber unter sorgfältiger Vermeidung jeder Berührung der Ranken mit einem festen Körper geschüttelt, so treten an den Ranken wohl Erschütterungskrümmungen auf, aber jene auffallende Reizwirkung, welche durch Contact mit einem festen Körper zur Geltung kommt, unterbleibt. Das Ergebniss unseres Experimentes lehrt auch, dass Luftreibung nicht als Reiz auf die Ranken einwirkt. Auch durch einen Wasserstrahl, den man z. B. aus einer Spritzflasche gegen die reizbare Flanke der Ranken von Sicyos richtet, werden dieselben nicht gereizt. Wesentlich anders wie die Ranken verhalten sich, wovon ich mich überzeugte, die empfindlichen Blätter von Mimosa pudica sowohl einem Wasserstrahl als auch einfacher Erschütterung gegenüber. Diese Blätter werden durch jede beliebige mechanische Erschütterung gereizt, und wenn man z. B. einen Wasserstrahl gegen ein ausgebreitetes Blatt richtet, so erfolgen die bekannten Schliessungsbewegungen sehr schnell. Die Ranken sind nicht durch jede beliebige mechanische Erschütterung reizbar, sondern sie reagiren nur dann, wenn in ihrer sensiblen Zone discrete Punkte beschränkter Ausdehnung gleichzeitig oder in genügend schneller Aufeinanderfolge von Stoss oder Zug betroffen werden. Wir haben also zwischen Stossreiz, auf den z. B. die Mimosablätter reagiren, und Contactreiz, der die Rankenbewegungen auslöst, zu unterscheiden.

Wird in der Nähe der Ranken von Cucurbita, Sicyos oder Cyclanthera eine Stütze, z. B. ein Draht oder ein dünner Holzstab, aufgestellt, so gelangen die reizbaren Organe in Folge der schon erwähnten Nutationsbewegungen alsbald mit der Stütze in Berührung. Der Contact löst eine Reizwirkung aus, und die Ranken krümmen sich. Durch diese Krümmung kommen weitere Punkte der Ranken mit der Stütze in Contact, neue Reizwirkungen machen sich geltend, und so kommt schneller oder langsamer ein Umwinden der Stütze zu Stande (vergl. Fig. 119, Rankenzweig *d*). Hat eine Ranke eine Stütze ergriffen, so treten an demjenigen Rankentheile, der zwischen der Stütze und

1) Vgl. Pfeffer, Untersuchungen aus d. botanischen Institut zu Tübingen, Bd. 1, S. 483.

der Pflanze ausgespannt ist, sehr schnell merkwürdige Veränderungen ein. Dieser Rankentheil bildet nämlich, wie es in Fig. 119 dargestellt ist, korkzieherförmige Einrollungen, und aus freilich rein mechanischen Gründen entstehen zwischen entgegengesetzt verlaufenden Windungen sogen. Wendepunkte (vergl. Fig. 119 bei *W*). Ich sah z. B., dass eine Sicyosranke, die am 1. Juli nachmittags um 4 Uhr eine Stütze ergriffen hatte, schon am Morgen des nächsten Tages in ihrem zwischen der Stütze und der Pflanze ausgespannten Theile korkzieherförmig gewunden war; Wendepunkte waren auch bereits vorhanden. Ich sah ferner, dass eine Cyclantheraranke, die eine Stütze ergriffen hatte, bei hoher Sommertemperatur schon nach 8 Stunden die ersten korkzieherförmigen Windungen an dem zwischen Stütze und Pflanze ausgespannten Theile hervortreten liess. Diese ersten Windungen bildeten sich in unmittelbarer Nähe des Befestigungspunktes der Ranke an der Stütze. Die Entstehung der korkzieherförmigen Windungen schreitet im frei ausgespannten Rankentheil von der Spitze nach der Basis fort. Ranken unserer Cucurbitaceen, welche keine Stütze ergriffen haben, zeigen ebenso wie die befestigten Organe Einrollungserscheinungen, aber man kann sich leicht davon überzeugen, dass dieselben, während sie an befestigten Ranken schnell entstehen, an solchen Ranken, die keine Stütze ergriffen haben, nur sehr langsam zur Ausbildung kommen. Diese Thatsachen lassen keinen Zweifel darüber bestehen, dass das beschleunigte Auftreten der Einrollungen befestigter Ranken Folge des Contactreizes ist, dem dieselben ausgesetzt gewesen sind, und zudem leuchtet ein, dass hierbei auch eine Reizfortpflanzung eine wichtige Rolle spielen muss, denn die korkzieherförmigen Windungen bilden sich ja am frei ausgespannten, nicht am direct berührten Rankentheile.

Mit Bezug auf die Mechanik der Rankenbewegungen ist so viel mit Sicherheit bekannt, dass, wenn eine Ranke durch Berührung gereizt worden ist und Krümmungen eingetreten sind, die Turgorausdehnung der Zellen auf der concaven Seite geringer ist als diejenige der Zellen der convexen Seite. Diese zunächst zur Geltung kommende und durch den Contactreiz hervorgerufene Differenz der Turgorausdehnung ist dann ferner die Ursache eines verschiedenartigen Wachsthums der Zellen der concav sowie der convex gewordenen Rankenseite. Die Zellen der letzteren wachsen lebhafter als diejenigen der ersteren, und dadurch werden die durch den Contactreiz hervorgerufenen Krümmungen fixirt. Mit Hülfe der plasmolytischen Methode (vgl. unter 56) ist man im Stande, den Antheil festzustellen, den die Turgorausdehnung der Zellen einer- und das Wachsthum derselben andererseits an dem Zustandekommen der Rankenkrümmungen nehmen, und es ist lehrreich, derartige Experimente auszuführen. Man verfährt dabei derartig, dass man die Ranken schwächer oder stärker reizt und dann, wenn mehr oder minder erhebliche Krümmungen eingetreten sind, abschneidet, um sie sofort in 20procentige Kochsalzlösung zu legen. Strecken sich die gekrümmten Ranken bei der Plasmolyse wieder völlig gerade, so war die in Folge des Contactreizes erzeugte Krümmung nur durch Verschiedenartigkeit der Turgorausdehnung der Zellen auf der concaven und convexen Rankenseite hervorgerufen. Wenn dagegen durch Plasmolyse keine völlige Geradestreckung erzielt wird, so ist damit die Betheiligung des Wachsthums an der Ausbildung der Windungen erwiesen. Ich habe Sicyosranken gereizt und, nachdem sie $^1/_4$, $^3/_4$ oder $1^1/_4$ Windungen gebildet hatten, der Plasmolyse unterzogen. Die beiden ersten Ranken

streckten sich alsbald völlig gerade; an der letzten blieb in der Salzlösung $^1/_4$ Windung erhalten [1]).

Die Ranken der Cucurbitaceen sind, worauf für Sicyosranken bereits hingewiesen wurde, nur an ihrer Spitze sehr reizbar; nach ihrer Basis zu nimmt die Reizbarkeit allmählich ab. Hiermit im Zusammenhang steht ohne allen Zweifel die Thatsache, von deren Richtigkeit ich mich nach den Angaben von O. Müller [2]) überzeugte, dass die Basis der Cucurbitaceenranken radiär gebaut ist, während der dorsiventrale Bau der Ranken um so mehr hervortritt, je mehr wir uns der sehr empfindlichen Rankenspitze nähern. Wir stellen z. B. eine ganze Anzahl von Schnitten aus einer Ranke von Bryonia dioica her. An der Basis ist die Ranke völlig oder nahezu radiär gebaut. Wir erblicken die regelmässig im Mark vertheilten Gefässbündel, einen geschlossenen Sklerenchymring, dessen Elemente aber noch nicht verholzt zu sein brauchen, dann grünes Gewebe, das aber nur an einigen Stellen bis zur Epidermis reicht, da reichliches Collenchym vorhanden ist.

Wenn wir Schnitte aus der Mitte oder dem oberen Theile der Bryoniaranken untersuchen, so tritt der dorsiventrale Bau des reizbaren Organes immer klarer hervor. Die Gefässbündel sind im Grundgewebe auf der Rankenunterseite zusammengedrängt, das Sklerenchym bildet keinen Ring mehr, sondern einen Bogen auf der Rankenunterseite. Ebenso ist das Collenchym hier besonders reichlich entwickelt, während das grüne Parenchym vor allem als Hauptgewebe der Rankenoberseite auftritt.

186. Experimente mit Ampelideenranken.

Die verzweigten Ranken von Vitis vinifera sind bei weitem nicht so reizempfindlich wie die unter 185 besprochenen Ranken von Sicyos und Cyclanthera. Diese letzteren reagiren unter günstigen Umständen ja fast momentan sehr energisch auf Berührung. Die Vitisranken krümmen sich selbst nach starker Reizung nur langsam. Ich fand einmal, dass ein Zweig einer Vitisranke, der mehrfach zwischen den Fingern hindurchgezogen worden war, bei hoher Sommertemperatur nach 20 Minuten deutlich gekrümmt erschien. In allen anderen Fällen, zumal bei nicht so hoher Temperatur, wurde die Reizwirkung erst nach Verlauf von einer oder einigen Stunden deutlich sichtbar. Ist eine Ranke von Vitis vorübergehend gereizt worden, und hat sie sich in Folge dessen gekrümmt, so streckt sie sich langsam wieder gerade und ist dann abermals reizbar. Stellt man in der Nähe einer Vitisranke einen dünnen Holzstab als Stütze auf, so kann dieser leicht umwunden werden. Der zwischen der Stütze und der Pflanze ausgespannte Rankentheil zieht sich korkzieherartig zusammen, aber dies erfolgt langsam, oft erst im Laufe einiger Tage.

Sehr eigenthümlich verhalten sich die Ranken von Ampelopsis quinquefolia (wilder Wein). In Figur 120 ist eine solche Ranke abgebildet, welche noch gar keine Befestigung erfahren hat. Die Rankenzweige sind nur bei einzelnen Individuen zum Winden befähigt; meist

---

1) Vgl. H. de Vries, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 302, und landwirthschaftliche Jahrbücher, Bd. 9, S. 511.

2) Vgl. O. Müller in Cohns Beiträgen zur Biologie der Pflanzen, Bd. 4, S. 120.

vermögen sie es nicht, sich in typischer Weise wie viele Cucurbitaceenranken oder Vitisranken zu befestigen. Dagegen sind die Enden der Rankenzweige im Stande, Haftballen zu erzeugen. Wenn nämlich diese Enden mit dem Mauer- oder Holzwerk, an dem die Pflanze wächst, in Berührung gerathen, so schwellen sie in Folge des Contactreizes alsbald zu den Haftballen an. Die Zellen dieser letzteren scheiden klebende Secrete ab, vermittelst welcher eine Befestigung der Rankenenden herbeigeführt wird. In Figur 121 ist eine Ampelopsisranke abgebildet, die

Fig. 120. Fig. 121.

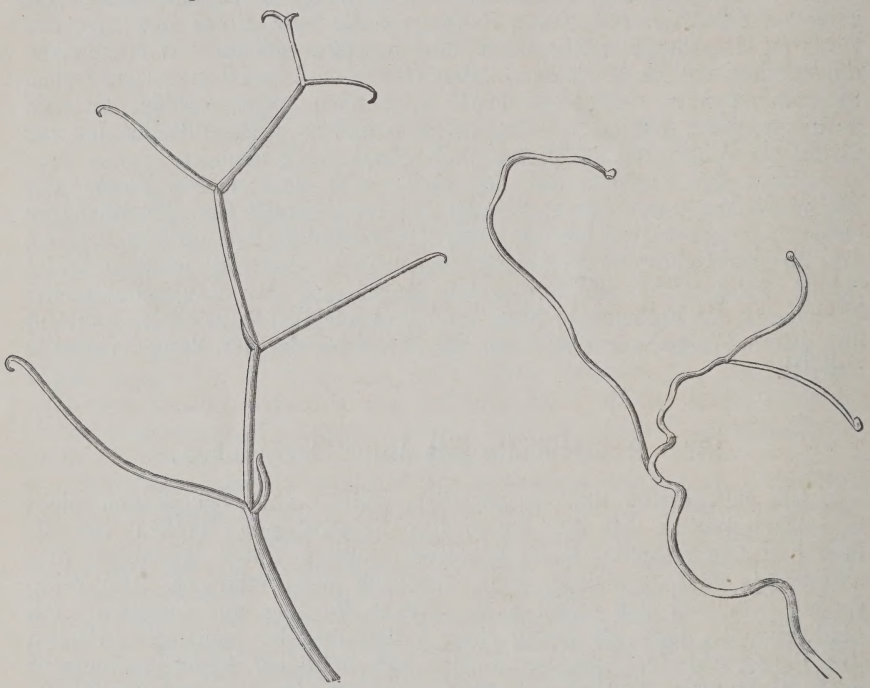


Fig. 120. Ranke von Ampelopsis quinquefolia, nicht befestigt.

Fig. 121. Ranke von Ampelopsis quinquefolia mit Haftballenbildung.

von einer Holzwand abgelöst worden war, nachdem die Enden ihrer Zweige eben begonnen hatten, Haftballen zu erzeugen. Hat sich eine Ampelopsisranke in der angegebenen Weise befestigt, so treten in den zwischen den Befestigungspunkten und der Pflanze ausgespannten Rankentheilen korkzieherförmige Windungen auf. Die Entstehung dieser letzteren ist, wie bei den Ranken von Sicyos, Vitis etc., Folge einer Reizfortpflanzung und hängt mit dem Contactreiz, der zur Haftballenbildung führte, innig zusammen. Wenn die Ampelopsisranken sich nämlich nicht befestigen, so unterbleibt das Auftreten der korkzieherförmigen Windungen. Die nicht befestigten Ranken unserer Pflanze werden sogar im Laufe einer oder zweier Wochen welk und fallen ab. Der zur Haftballenbildung führende Contactreiz an den Enden der Rankenzweige ruft aber nicht nur die Bildung der erwähnten korkzieherförmigen

Windungen hervor, sondern es machen sich in Folge von Reizfortpflanzung noch weitere Veränderungen im frei ausgespannten Rankentheile geltend.

Untersucht man einen zarten Querschnitt eines noch nicht befestigten Rankenzweiges von Ampelopsis, so gewahrt man ein grosszelliges Mark, das von einem Gefässbündelkreis umgeben wird. Die Verbindung zwischen dem Mark und der grünen Rinde stellen grosse Markstrahlen her, und in der Peripherie der Rinde, dicht unter der Epidermis, ist Collenchym vorhanden. Wenn die Ampelopsisranken sich befestigt haben, so erfährt ihr Bau zugleich mit der Bildung der korkzieherförmigen Windungen wesentliche Veränderungen. In den Markstrahlen tritt Zwischencambium auf; der Holzkörper der Gefässbündel vergrössert sich in bedeutendem Maasse, bis endlich ein geschlossener Holzring entstanden ist, wodurch die Ranken sehr bedeutend an Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gewinnen und der Pflanze erst von rechtem Nutzen werden [1]).

IV. Die Dorsiventralität, Polarität und Anisotropie der Pflanzenorgane und die Correlationserscheinungen im Pflanzenreich.

187. Die Dorsiventralität der Pflanzentheile.

Viele Pflanzentheile, zumal plagiotrope (z. B. viele Laubblätter), sind in ausgeprägter Weise dorsiventral gebaut. Es giebt aber auch Stengeltheile, denen in morphologischer respect. physiologischer Beziehung Dorsiventralität eigenthümlich ist, und für gewisse derselben ist sogar die Ursache der Dorsiventralität bekannt; sie kann daher in bestimmter Weise hervorgerufen werden. Einige Beobachtungen sollen uns näheren Aufschluss über diese interessanten Verhältnisse gewähren.

Wir legen im Sommer einige Samen von Tropaeolum majus in gute Gartenerde aus, die sich in Blumentöpfen befindet. Die Culturgefässe stellen wir vor ein Fenster, welches recht helles Licht empfängt. Die epicotylen Glieder der sich entwickelnden jungen Keimlinge (wir dürfen stets nur wenige in einem Blumentopf cultiviren, damit sie sich nicht gegenseitig beschatten) wenden sich zunächst dem Licht entgegen; sie verhalten sich positiv heliotropisch. Bleiben die Pflanzen unverrückt im hellen Licht vor dem Fenster stehen, so geht der positive Heliotropismus der epicotylen Glieder der Keimlinge in einen negativen Heliotropismus über. Sie wenden sich, ebenso wie die weiteren neu entstehenden Stengeltheile, von der Lichtquelle ab. Ihre Lichtseite (Oberseite) wird daher convex. Der Einfluss intensiven Lichts ruft also eine Dorsiventralität der Tropaeolumstengeltheile hervor, dieselbe ist aber nur eine physiologische, keine morphologische, denn die Achsenglieder unserer Pflanzen bewahren stets, sowohl mit Rücksicht auf ihren anatomischen Bau als auch in Bezug auf die Stellung der an ihnen entstehenden Blätter einen multilateralen oder radiären Charakter. Es

---

1) Vergl. Darwin, Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen, 1876, S. 105, und v. Lengerken, Botan. Zeitung, 1885, Nr. 22—26.

ist wichtig, dass die Licht- oder Oberseite des epicotylen Stengelgliedes von Tropaeolum nicht allmählich convex wird, wenn die Beobachtungsobjecte schwachem Licht ausgesetzt sind; das negativ heliotropische Verhalten der Pflanzentheile kommt dann nicht zur Geltung; sie krümmen sich dann nur positiv heliotropisch dem Licht entgegen. Uebrigens kann jede beliebige Flanke der Tropaeolumstengel (eben die am stärksten beleuchtete) zur Oberseite derselben werden [1]).

Ein ausgezeichneter Fall localer Induction von Dorsiventralität lässt sich bei Experimenten mit den horizontal wachsenden Sprossen von Thuja occidentalis constatiren [2]). An diesen Sprossen sind vier Blattzeilen vorhanden: je eine Blattzeile auf der Ober- und Unterseite (Facialblätter); je eine an den beiden Flanken (Marginalblätter). Die unter gewöhnlichen Verhältnissen erwachsenen Thujasprosse sind nun deutlich dorsiventral gebaut, wovon man sich leicht bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte überzeugen kann. Ihr Mesophyll z. B. ist auf der Oberseite palissadenartig entwickelt, auf der Unterseite besteht es aus nahezu isodiametrischen Zellen (vergl. Frank, Pringsheims Jahrbücher, B. 9, Tafel 16, Fig. 4). Wenn man nun im zeitigen Frühjahr vor dem Erwachen der Vegetation (die von mir ausgeführten Versuche begannen Anfang März) horizontale Thujasprosse umkehrt und in dieser Lage fixirt, ohne sie von der Mutterpflanze abzutrennen, so dass ihre morphologische Unterseite nach oben gewandt ist, dann entwickeln sich die Sprossenden im Laufe des Frühlings ganz normal und erlangen auch wie gewöhnlich dorsiventralen Bau. Diejenige Seite der Thujasprosse aber, welche ohne Umkehrung zur morphologischen Unterseite geworden wäre, wird jetzt zur Oberseite, wie z. B. das Vorhandensein von Palissadenparenchym deutlich zeigt, während die erdwärts gewandte Seite der umgekehrten Sprosse den normalen Charakter der Unterseite annimmt. Die Dorsiventralität der Thujasprosse ist also Folge localer Induction. Sie wird durch Lichtwirkung hervorgebracht, nicht, wie Frank noch specieller nachweist, durch Schwerkraftwirkung.

Werden die mehr oder minder zweizeilig beblätterten Sprosse von Taxus baccata zur Zeit des Austreibens der Knospen, also im Mai, um 180° gedreht und in dieser Lage, ohne sie von der Mutterpflanze abzutrennen, durch Festbinden fixirt, so beobachtet man, dass die jungen Triebe (natürlich nicht die älteren, schon ausgewachsenen) nach Verlauf einiger Tage durch Drehung wieder in diejenige Lage zurückgekehrt sind, welche sie vor Beginn des Experiments besassen. Wenn man die Taxussprosse vor dem beginnenden Austreiben der Knospen (meine Versuche begannen Mitte März) um 180° dreht und in dieser Lage fixirt, dann wird, wohl namentlich unter dem Einfluss der Schwerkraft, alsbald eine Dorsiventralität in den sich entwickelnden Sprossen inducirt, die der neuen Lage entspricht, so dass die Jahrestriebe nunmehr nach einer Umkehrung in die beim Austreiben angenommene Orientirung zurückstreben. Der Unterschied zwischen solchen Taxussprossen, die sich in gewöhnlicher Weise entwickelt haben, und solchen, welche aus Knospen hervorgegangen sind, die an zeitig im Frühjahr um 180° gedrehten älteren Sprossen sassen, prägt sich aber wesentlich darin aus,

1) Vergl. Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2, S. 271.
2) Vergl. Frank in Pringsheims Jahrbüchern, Bd. 9, S. 147.

dass bei jenen die Länge der Nadeln von der Unter- zur Oberseite der Zweige abnimmt, während bei diesen die längsten Nadeln der Oberseite angehören [1]).

188. Die Polarität der Pflanzentheile.

Zahlreiche Pflanzentheile, zumal viele Sprosse, lassen die Erscheinung einer ausgeprägten Polarität deutlich erkennen. Die Organisationsverhältnisse oder auch das physiologische Verhalten solcher Pflanzentheile weisen direct auf einen Unterschied von Basis und Spitze hin, und wir wollen zunächst einige Experimente anstellen, um zu einem genaueren Verständniss der hier berührten merkwürdigen Thatsachen zu gelangen.

In einen Glascylinder wird etwas Wasser gebracht, so dass dieses den Boden des Cylinders etwa 1 Ctm. hoch bedeckt. Die Innenwand unseres Apparats belegen wir ihrer ganzen Ausdehnung nach mit durchfeuchteten Fliesspapierstreifen; dieselben müssen mit ihrem unteren Ende in das Wasser eintauchen. Die Oeffnung am oberen Ende des Cylinders wird durch Bedecken mit einer Glasplatte verschlossen. Wir können unseren Versuch nun zu sehr verschiedener Jahreszeit anstellen und wollen zunächst sehen, welchen Erfolg wir bei Experimenten mit Weidenzweigen im Februar oder März erzielen. Wenn man zur angegebenen Zeit Stücke von Weidenzweigen (Salix viminalis oder S. fragilis) von etwa 200 Mm. Länge und 12 Mm. Durchmesser, die ihrer ganzen Länge nach mit möglichst gleichartig entwickelten Knospen besetzt sind, in dem Glascylinder an Fäden aufhängt (vergl. Fig. 122), so dass ihre morphologische Spitze nach oben, ihr basales Ende nach unten gerichtet ist, aber nicht in das Wasser eintaucht, dann beginnt alsbald das Austreiben der Knospen und der unter der Rinde verborgenen Wurzelanlagen unserer Untersuchungsobjecte. Die Weidenzweigstücke bilden in der feuchten Luft und bei hinreichend hoher Temperatur (etwa 20° C.) im Laufe von 3 bis 4 Wochen, während welcher Zeit sie bei Lichtabschluss gehalten worden sind, kräftige Triebe sowie Wurzeln. Wir finden nun aber, dass Triebe nur aus den an der Spitze der Zweigstücke vorhandenen Knospen hervorgehen, während aus einem recht beträchtlichen Theil der Oberfläche der Zweigstücke Wurzeln hervorbrechen. Bei zahlreichen Beobachtungen, die ich anstellte, fand ich aber in Uebereinstimmung mit Vöchting [2]) stets mehr oder minder deutlich, dass die Wurzeln nach der morphologischen Basis der Zweigstücke hin an Zahl und Länge zunehmen. (Vergl. auch

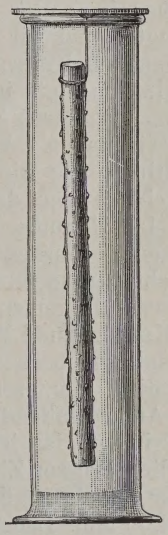


Fig. 122. Glascylinder, in welchem ein austreibendes Weidenzweigstück hängt.

1) Vergl. Frank, Die natürl. wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, 1870, S. 24.
2) Vergl. Vöchting, Ueber Organbildung im Pflanzenreich, 1878.

Fig. 88). Wenn wir imJuli aus dem mittleren Theile eines kräftigen diesjährigen Weidenzweiges, dessen Blätter wir entfernt haben, Stücke von etwa 200 Mm. Länge herausschneiden und dieselben in angegebener Weise in einem Glascylinder in feuchter Luft aufhängen, so entwickeln sich am oberen Ende unseres Untersuchungsobjectes Triebe. Was die Wurzelbildung anbelangt, so ist dieselbe bei den jungen Zweigstücken im Gegensatz zu älteren auf deren morphologische Basis beschränkt. Wir hängen auch noch ältere oder jüngere Weidenzweigstücke im März oder Juli derartig in Glascylindern auf, dass ihre morphologische Spitze nach abwärts, ihre morphologische Basis aber nach oben gekehrt ist. Es ergiebt sich wieder, dass an der Spitze Triebe, an der morphologischen Basis aber besonders zahlreiche und kräftige Wurzeln zur Ausbildung gelangen. Die Experimente mit umgekehrt aufgehängten Zweigstücken lehren also, dass die Wirkung der Schwerkraft nicht die unmittelbare Ursache der von uns bezüglich der Entwickelung von Trieben und Wurzeln constatirten Erscheinungen sein kann.

Es ist sicher, dass die Polarität von Pflanzentheilen, d. h. der Gegensatz von Basis und Spitze an denselben, nicht Folge geheimnissvoller vitaler Kräfte ist, sondern dass dieselbe äusseren Kräften ihre Entstehung verdankt. Wir haben allen Grund zu der Annahme, nach welcher in erster Linie die Schwerkraft jene Polarität ursprünglich bedingte, und wir können uns mit Rücksicht auf die hier in Betracht kommenden Fragen etwa die folgende Vorstellung bilden. Wenn die Gravitation stets in der nämlichen Richtung und durch zahllose Generationen hindurch auf die Gewächse einwirkt, so kann durch Summirung der Wirkungen schliesslich eine erbliche Eigenschaft der Pflanzentheile resultiren, die wir eben als Polarität bezeichnen. Diese letztere wäre danach als eine durch die Schwerkraft herbeigeführte, über das Leben des Individuums hinausgreifende Nachwirkungserscheinung, als ein Phänomen inhärenter oder stabiler Induction aufzufassen. Von diesem Gesichtspunkte aus würde auch die Thatsache begreiflich sein, dass die Schwerkraft keinen wesentlichen directen Einfluss auf das Auswachsen der Knospen und Wurzeln an Pflanzentheilen mit ausgeprägter Polarität geltend zu machen im Stande ist[1]). Uebrigens übt die Gravitation auf diese letzteren dennoch unter bestimmten Bedingungen eine in die Augen fallende Wirkung aus, wovon man sich leicht durch ein Experiment, das ich in folgender Form anstellte, überzeugen kann. Ein ziemlich grosser Zinkkasten wurde bis zur Hälfte mit Wasser angefüllt. Ueber der Wasserfläche wurde dann eine Reihe von Weidenzweigstücken von 200 Mm. Länge und 12 Mm. Durchmesser in eine horizontale Lage gebracht, was leicht geschehen kann, indem man sie an ihren Enden auf geeignete, aus dem Wasser hervorragende Unterlagen auflegt. Das Zinkblechgefäss schloss ich nicht völlig luftdicht mit einem Deckel; die Untersuchungsobjecte befanden sich aber im Dunkeln. Die Experimente, welche im März und April angestellt wurden, ergaben, dass die Knospen sich vorwiegend an der morphologischen Spitze der Weidenzweigstücke entwickelten, während zumal die Basis derselben Wurzeln bildete. Es ist aber hier für uns besonders die speciellere räumliche

1) Nicht alle Sprosse besitzen eine derartig ausgeprägte Polarität wie die Weidenzweige, und solche sind dann auch localer Induction zugänglich. Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie.

Orientirung der Triebe und Wurzeln von Bedeutung. Jene bildeten sich nämlich insbesondere an der Ober-, diese an der Unterseite der horizontal gelegten Weidenzweigstücke aus, ein Erfolg, der ohne Zweifel auf Schwerkraftwirkung beruht. Uebrigens sind bei derartigen Versuchen mit Rücksicht auf das individuell recht verschiedenartige Verhalten der Zweigstücke stets eine Anzahl Objecte neben einander zu verwenden.

Beiläufig sei noch bemerkt, dass, wie Vöchting specieller nachgewiesen hat, das Licht einen bedeutsamen Einfluss auf die Ausbildung von Wurzeln an Weidenzweigen geltend macht. Wenn man Weidenzweigstücke in angegebener Weise in Glascylindern aufhängt, einen Glascylinder unter einen schwarzen Recipienten stellt, den anderen aber diffusem Tageslicht aussetzt, so findet man, dass bei Lichtzutritt nicht so viele Wurzeln als im Dunkeln aus der Rinde der Zweigstücke hervorbrechen, und dass sich die Wurzelentwickelung bei Lichtzutritt auch langsamer als im Finstern vollzieht.

An vielen Pflanzentheilen ist eine ebenso ausgeprägte Polarität wie an den Weidenzweigen zu constatiren. Ich habe z. B. Kartoffelknollen im Winter in einem Kasten aufgestellt, so dass sie vor dem Licht geschützt waren [1]). Die Spitze mehrerer Knollen war nach aufwärts, diejenige anderer nach abwärts gerichtet, aber stets entwickelten sich vorwiegend nur an der morphologischen Spitze, d. h. an demjenigen Knollenende, das dem Nabelende entgegengesetzt ist, kräftige Triebe. Das für ihre Ausbildung erforderliche Wasser sowie die Nährstoffe entnehmen die Triebe unter den bezeichneten Umständen allein der Knolle (vergl. Fig. 123).

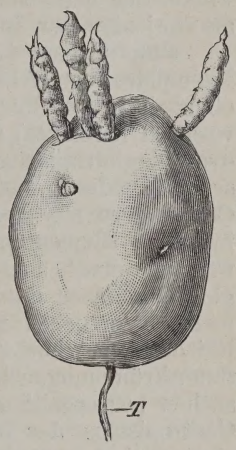


Fig. 123. Keimende Kartoffelknolle. *T* Tragfaden.

Werden 100—150 Mm. lange und 10 Mm. dicke Wurzelstücke, z. B. solche von Ulmus campestris, bei Lichtabschluss in Glascylindern, die etwas Wasser enthalten, derartig aufgehängt, dass ihre morphologische Spitze nach abwärts oder aufwärts gerichtet ist, so produciren sie stets nur an ihrer morphologischen Basis Adventivsprosse. Neue Wurzeln werden an der morphologischen Spitze der Untersuchungsobjecte seltener erzeugt; sie entstehen hier überhaupt nicht leicht. Die Sprosse bilden, wie wir gesehen haben, an ihrer morphologischen Spitze neue Triebe, die Wurzeln erzeugen hingegen Triebe an ihrer morphologischen Basis.

189. Die Anisotropie der Pflanzenorgane.

Die Richtung, welche die Pflanzentheile bei ihrem Wachsthum einschlagen und schliesslich beibehalten, ist keineswegs abhängig von zufälligen Umständen, sondern sie steht in bestimmter Weise in einer causalen Beziehung zu einer Reihe innerer sowie äusserer Wachsthums-

1) Vergl. Detmer, Sitzungsber. d. Jenaischen Gesellschaft f. Naturwissenschaft und Medicin, 1884, S. 5.

momente. Aus diesem Grunde ist es auch in manchen Fällen möglich, die Ursachen wenigstens bis zu einem gewissen Grade darzulegen, weshalb ein Pflanzentheil unter gegebenen Umständen diese und keine andere Wachsthumsrichtung einschlägt, und es mögen hier einige dieser Fälle speciellere Erörterung finden.

Cultivirt man Phaseoluskeimlinge in der Weise, wie es unter 170 angegeben worden ist, in einem Zinkkasten hinter Glaswand, so ist leicht zu constatiren, dass die Nebenwurzeln erster Ordnung mit der Hauptwurzel einen bestimmten Winkel, den man als geotropischen Grenzwinkel bezeichnet, bilden. Wir haben unsere Cultur im Dunkeln angestellt, und wenn eine Anzahl von Nebenwurzeln zur Ausbildung gelangt ist, bezeichnen wir die Richtung ihrer Spitzen durch auf die Aussenfläche der Glasscheibe angebrachte Tuschestriche. Jetzt setzen wir unseren Apparat bei constant bleibender Temperatur dem Einfluss des diffusen Tageslichtes aus. Die Spitzen der Nebenwurzeln verändern, wie schon nach 24 Stunden unzweifelhaft hervortritt, ihre Wachsthumsrichtung erheblich. Freilich wachsen die Wurzeln auch bei Lichtzutritt nicht senkrecht nach abwärts, aber der geotropische Grenzwinkel der neu gebildeten Wurzeltheile ist doch ein erheblich geringerer als derjenige der im Finstern entstandenen.

Untersuchen wir im Frühjahr den Boden in der Nähe blühender Exemplare von Adoxa Moschatellina, so findet man, dass zahlreiche elfenbeinweisse Rhizome dieser Pflanze das Erdreich durchziehen. Sie wachsen horizontal im Boden fort, und es fragt sich, welche Umstände den Plagiotropismus der in Rede stehenden Organe bedingen. Wir schneiden die Enden einiger Rhizomzweige in einer Länge von mehreren Centimetern ab, stecken sie mit ihrer Basis in feuchte Erde, die sich in einem Blumentopfe befindet, so dass ihre Spitzen gerade nach aufwärts gewandt sind, und stellen unsere Vorrichtung unter einer Glasglocke in einen dunkeln Raum. Nach Verlauf von einigen Tagen (bei meinen Versuchen nach 2—3 Tagen) ist der fortwachsende Theil der Rhizomspitzen horizontal gerichtet, und zwar ist die eingetretene Wachsthumskrümmung, wie aus unserem Experiment sowie anderweitigen Versuchen hervorgeht, ausschliesslich Folge einer Schwerkraftwirkung. Der Geotropismus der Rhizome von Adoxa bringt dieselben aber nicht in eine verticale, sondern, worauf das Hauptgewicht zu legen ist, in eine horizontale Stellung [1]).

Lehrreich ist es ferner, das folgende Experiment, welches ich mit entblätterten Sprossen von Sida Napaea ausführte, anzustellen, da dasselbe lehrt, dass vorübergehend auch geotropische Nachwirkungen von Bedeutung für die Wachsthumsrichtung von Pflanzentheilen sein können (vgl. übrigens unter 171). Wir stecken das untere Ende eines Sidasprosses in den an einer Wand eines Zinkkastens zusammengehäuften, feuchten Sand und überlassen das Untersuchungsobject bei etwa 20° C. $1^1/_2$ Stunden lang sich selbst in horizontaler Lage, bis eine geotropische Aufwärtskrümmung eben begonnen hat. Jetzt drehen wir den Spross um 90° nach rechts oder links. Nach ferneren 2—3 Stunden finden wir, dass die Krümmung des Sprosses in Folge einer geotropischen Nachwirkung in horizontaler Richtung eine sehr energische geworden ist. Mit dieser Krümmung hat sich aber eine andere, nach aufwärts gerichtete, die ihr Zustandekommen einer directen Schwerkraftwirkung

1) Vgl. Stahl, Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, Bd. 2, H. 8.

verdankt, combinirt, so dass der Spross schief aufwärts gewandt erscheint.

Von erheblichem Interesse ist es, die Thatsache festzustellen, dass es Pflanzentheile giebt, deren Richtung sich in Folge ihrer heliotropischen Eigenschaften von dem Stande der Sonne abhängig erweist. Wenn man im Freien wachsende Exemplare von Tragopogon orientalis zur Blüthezeit betrachtet, so findet man, dass die Blüthenstände nur am Morgen geöffnet sind. Sie schliessen sich im Laufe des Vormittags. In den Morgenstunden sind nun die Blüthenköpfchen nach Osten gewandt; sie folgen am Tage dem Laufe der Sonne über Süden nach Westen, ein Phänomen, das ich oft beobachtete, und richten sich in der Nacht gerade empor. Die Bewegung der Blüthenstände von Tragopogon wird durch den sie tragenden Stengeltheil vermittelt. Dieser ist zur Blüthezeit der Pflanze stark heliotropisch reizbar und wächst auf seiner jeweiligen Schattenseite immer stärker als auf seiner der Sonne direct zugekehrten Seite, so dass die angeführten Bewegungserscheinungen resultiren müssen [1]).

Die radiär gebauten Pflanzentheile sind meistens orthotrop; sie wachsen gerade nach abwärts oder aufwärts. Plagiotrope Organe sind dagegen gewöhnlich dorsiventral, und ihre mehr oder minder horizontale Wachsthumsrichtung hängt eben innig mit ihrer Dorsiventralität zusammen, denn ihre Rücken- und Bauchseite reagirt gewöhnlich nicht gleichartig auf die Einwirkung äusserer Reizursachen.

Wir bedecken den Boden eines grossen Zinkkastens mit feuchtem Sand, häufen einen Theil desselben an einer der Wände des Kastens zu einem Wall zusammen, in welchen wir das untere Ende der Untersuchungsobjecte hineinstecken, so dass dieselben im übrigen den Sand nicht berühren und horizontal gerichtet sind. Wir experimentiren mit Pflanzentheilen, die unter normalen Verhältnissen deutlichen Plagiotropismus erkennen lassen, denn es handelt sich ja gerade für uns darum, die Ursachen desselben festzustellen, und wählen zunächst junge Stengeltheile von Pyrus Malus, Ausläufer von Potentilla reptans oder solche von Ajuga reptans zur Beobachtung. Es müssen stets mehrere möglichst gleichartig entwickelte Untersuchungsobjecte von 15—20 Ctm. Länge sorgfältig ausgewählt werden; wir entblättern sie und bringen einige derartig in unseren Kasten, dass ihre Oberseite nach oben, andere so, dass ihre Unterseite nach oben gewandt ist. Nun bedecken wir den Kasten mit einem Deckel. Die Stengeltheile bleiben längere Zeit (z. B. 24 Stunden lang) in dem feuchten, dunkeln Raume sich selbst überlassen. Nach dieser Zeit finden wir alle Objecte aufwärts gekrümmt, diejenigen, welche mit der Unterseite nach oben horizontal gelegt worden sind, aber stärker als die übrigen, wie man noch genauer durch Feststellung der Krümmungsradien ermitteln kann. Diese Aufwärtskrümmung ist in jedem Falle Folge des negativen Geotropismus der Stengeltheile, aber bei normaler Lage wirkt demselben die Epinastie entgegen, während das Zustandekommen einer stärkeren Wachsthumskrümmung bei verkehrter Lage der Sprosse als Folge des gleichsinnigen Zusammenwirkens von Geotropismus und Epinastie angesehen werden muss. Die Epinastie, d. h. das stärkere Wachsthum der Oberseite von Pflanzentheilen, ist nach H. de Vries auf innere Wachsthumsursachen zurückzuführen, eine Anschauung, auf die wir noch zurückkommen.

1) Vgl. Wiesner, Denkschrift d. Akademie d. Wissensch. in Wien, Bd. 43.

Ausserordentlich stark epinastisch sind auf jeden Fall die Blüthen tragenden, unter normalen Verhältnissen horizontal gerichteten Sprosse von Atropa Belladonna. Schneidet man solche Sprosse ab und stellt sie mit ihrer Basis in Wasser, so findet man, dass die bei Beginn des Versuches vertical gerichteten Sprossenden nach Verlauf von etwa 12 Stunden, während welcher Zeit die Untersuchungsobjecte im Dunkeln verweilt haben, horizontal gerichtet sind (vgl. Fig. 124).

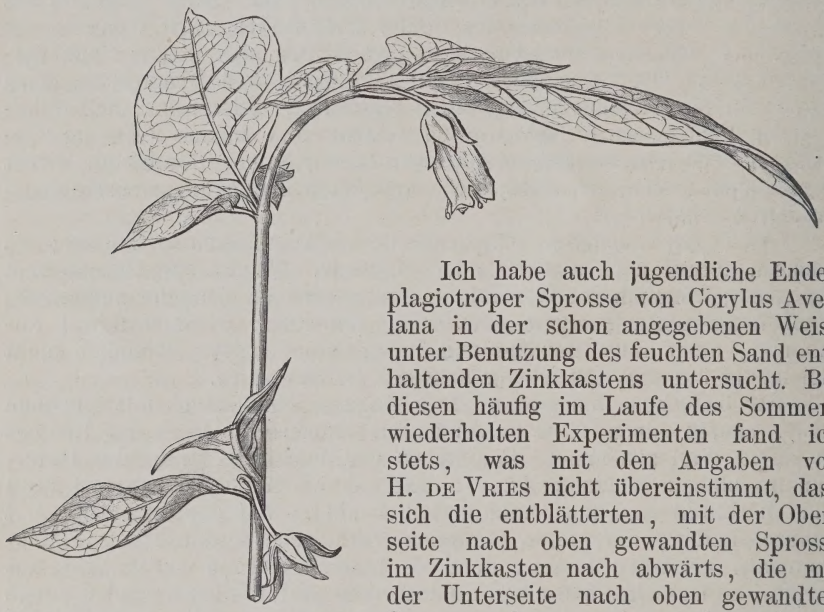


Fig. 124. Spross von Atropa Belladonna, dessen Gipfel sich epinastisch gekrümmt hat.

Ich habe auch jugendliche Enden plagiotroper Sprosse von Corylus Avellana in der schon angegebenen Weise unter Benutzung des feuchten Sand enthaltenden Zinkkastens untersucht. Bei diesen häufig im Laufe des Sommers wiederholten Experimenten fand ich stets, was mit den Angaben von H. de Vries nicht übereinstimmt, dass sich die entblätterten, mit der Oberseite nach oben gewandten Sprosse im Zinkkasten nach abwärts, die mit der Unterseite nach oben gewandten Sprosse aber stark nach aufwärts krümmten. Es wirken hier also starke Epinastie und schwächerer Geotropismus zusammen.

Sprosse von Corylus humilis krümmen sich bei normaler Lage nach meinen Experimenten im Zinkkasten aufwärts, bei verkehrter Lage indessen gar nicht. Aehnlich verhalten sich nach H. de Vries Sprosse von Prunus avium. In diesen Fällen ist die Wachsthumsrichtung der Pflanzentheile die Resultirende aus dem Zusammenwirken von Geotropismus und Hyponastie, d. h. dem lebhafteren, auf inneren Ursachen beruhenden Wachsthum der Sprossunterseite.

Wir wollen nun ähnliche Experimente, wie wir solche mit Sprossen ausgeführt haben, auch mit Blattstielen und Blattmittelrippen anstellen, um zu einem Verständniss der biologisch sehr wichtigen Thatsache zu gelangen, dass sich die meisten Blätter annähernd rechtwinkelig zu der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen stellen. Wenn man z. B. mit wachsenden Blattstielen von Calla palustris und Petasites, mit den allgemeinen Blattstielen der gefiederten Blätter von Sambucus nigra oder Juglans regia (stets ohne Spreiten), mit der Blattmittelrippe von Sambucus experimentirt und die Untersuchungsobjecte in normaler oder verkehrter Lage mit der Basis in den Sandwall des Zinkkastens steckt, so findet man stets, dass sie negativ geotropisch, sowie mehr oder minder

stark epinastisch sind. Ich prüfte zumal das Verhalten von Calla und dasjenige der Blattmittelrippe von Sambucus. In normaler Lage krümmten sie sich abwärts, in verkehrter stärker aufwärts. Werden Blattstiele oder Rippen im Zinkkasten horizontal auf die Seite gelegt, so dass also ihre Medianebene horizontal liegt, dann muss der negative Geotropismus eine Aufwärtskrümmung in verticaler Ebene anstreben, die Epinastie aber eine Krümmung in horizontaler Ebene. Die thatsächlich erfolgende, resultirende Krümmung muss also in schiefer Ebene stattfinden.

H. DE VRIES hat gezeigt, dass der Heliotropismus von nur untergeordneter Bedeutung für die Stellungsverhältnisse der Blätter ist. Wohl aber spielen Belastungsverhältnisse bei dem Zustandekommen derselben eine recht wichtige Rolle. Werden Blattstiele, und zwar theils nach Entfernung, theils ohne Beseitigung der Spreite, in dem Zinkkasten in horizontale Lage gebracht, wobei darauf zu achten ist, dass die Oberseite der Organe stets nach oben gewandt ist, dann krümmen sich die Stiele, denen man die Spreite belassen hat, im Falle ihre Epinastie keine zu bedeutende ist, gar nicht oder doch viel schwächer aufwärts als jene, welche von der Spreite befreit wurden. Die Belastungsverhältnisse sind wohl im Auge zu behalten, wenn es sich darum handelt, die Wachsthumsrichtung der Blätter und ebenso diejenige der plagiotropen Sprosse unter normalen Bedingungen zu verstehen. Diese Wachsthumsrichtung ist, wie wir gesehen haben, eine Resultirende aus einer Reihe verschiedener Factoren. Zahlreiche weitere Angaben über die hier besprochenen Erscheinungen und auch über Bestimmung der Zuwachsgrösse bei dem Zustandekommen der erwähnten Krümmungen von Spross- sowie Blatttheilen findet man in einer werthvollen Abhandlung von H. DE VRIES über unseren Gegenstand[1]).

Es ist bereits erwähnt worden, dass die Blattspreiten, Blattstiele und viele Sprosse das Vermögen besitzen, auf ihrer morphologischen Oberseite energischer als auf ihrer Unterseite zu wachsen. Dies epinastische Verhalten der erwähnten Organe besitzt grosse Bedeutung für das Zustandekommen ihrer normalen plagiotropen Orientirung, und H. DE VRIES vertritt die Ansicht, nach welcher die Epinastie Folge innerer Wachsthumsursachen sein soll. Ich bin bei Untersuchungen über die Ursachen der Epinastie der Blätter von Phaseolus multiflorus und Cucurbita zu anderen Resultaten gelangt[2]). Man cultivire Keimlinge von Phaseolus und Cucurbita bei völligem Lichtabschluss in Blumentöpfen. Bei etwa 20° C. hat sich das hypocotyle Glied von Cucurbita in etwa 10 Tagen bis zu beträchtlicher Länge entwickelt; die Cotyledonen sind gerade aufgerichtet; sie schliessen mit ihrer Oberseite dicht zusammen. In etwa 14 Tagen ist das Epicotyl von Phaseolus bis zu bedeutender Länge herangewachsen, und die langgestielten Primordialblätter zeigen in Folge hyponastischen Wachsthums, d. h. stärkeren Wachsthums ihrer Unter- als ihrer Oberseite, ein muscheliges Aussehen. Werden die Keimpflanzen nunmehr hellem diffusem Tageslicht ausgesetzt, so verlieren die Primordialblätter der Bohne in Folge epinastischen Wachsthums ihre muschelige Gestalt; ebenso wächst jetzt die Oberseite der Cucurbitacotyledonen lebhaft, so dass diese Organe aus ihrer ursprünglich orthotropen in eine plagiotrope Stellung übergehen. Das

1) Vergl. H. DE VRIES, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 223.
2) Vergl. DETMER, Botan. Zeitung, 1882, Nr. 46.

Licht ruft aber erst das energischere Wachsthum der Blattoberseite hervor; im Finstern kommt dasselbe nicht zu Stande. Die Epinastie ist keine spontane, sondern eine paratonische Nutationserscheinung, und wir reden fernerhin nicht mehr kurzweg von Epinastie, sondern von Photoepinastie der Blätter. Bringen wir unsere Phaseolus- oder Cucurbitakeimlinge, nachdem sie im Finstern das bezeichnete Entwickelungsstadium erreicht haben, 3—5 Stunden lang in diffuses Licht, so ist noch keine photoepinastische Bewegung eingetreten. Stellen wir die Untersuchungsobjecte nun aber ins Dunkle zurück, dann breiten sich die Blätter im Laufe von 6—12 Stunden aus. Es kommt hier also eine photoepinastische Nachwirkungserscheinung zur Geltung.

Die photoepinastischen Nutationen treten stets ein, wenn die im Dunkeln erwachsenen und noch nicht zu alten Keimpflanzen beleuchtet werden, mag das Licht die Untersuchungsobjecte von oben oder in einer anderen Richtung treffen. Die Blätter suchen sich nahezu rechtwinkelig zu der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen zu stellen, und bei den Experimenten mit Cucurbita wird man auch leicht die Thatsache constatiren, dass hier — und Aehnliches gilt ebenso für andere Fälle — ein Organ (nämlich das hypocotyle Glied) einen wesentlichen Einfluss auf die schliessliche Orientirung anderer Organe (der Cotyledonen) zum Licht geltend macht. Das stark positiv heliotropische Verhalten des hypocotylen Gliedes spielt bei dem Zustandekommen der Lichtlage der Blätter, wenn die Keimpflanzen nur von einer Seite aus beleuchtet werden, eine wesentliche Rolle.

Werden wachsende Blätter aus ihrer normalen Lage in abnorme Stellung zum Licht gebracht, so haben sie das Bestreben, wieder in jene erstere zurückzukehren. Ich habe zur Feststellung dieser Thatsache eine Reihe von Experimenten angestellt, und es ist lehrreich, dieselben zu wiederholen. Man cultivirt einige Exemplare von Cucurbita in Blumentöpfen. Haben die Pflanzen mehrere Blätter gebildet, so beginnen die Versuche. Einige Blätter werden derartig aufgerichtet, dass ihr Blattstiel vertical gestellt ist und die Spitze der Spreiten nach oben weist. Die Blätter werden an kleinen Stäben durch Anbinden befestigt, und zwar bringt man die Fäden dicht unter den Spreiten am Ende der Stiele an. Stellt man die Pflanzen bei einseitiger Beleuchtung derartig auf, dass die Unterseiten der befestigten Blätter dem Licht zugewandt sind, so werden die Spreiten in Folge photoepinastischer Bewegungen alsbald wieder eine normale Stellung zum Licht erreicht haben. Ertheilt man einem Blumentopf, in welchem sich Cucurbitapflanzen entwickeln, bei einseitiger Beleuchtung eine derartige Lage, dass die nicht festgebundenen Blattstiele ebenso wie die mit ihrer Unterseite dem Licht zugekehrten Blattspreiten eine verticale Stellung einnehmen, dann führen die Organe heliotropische und photoepinastische Bewegungen aus, um wieder in die normale Lichtlage zurückzukehren. Bringen wir Cucurbitapflanzen, die sich zunächst unter normalen Verhältnissen entwickelt haben, ins Dunkle und sorgen wir dafür, dass einige ihrer Blätter (Stiel und Spreite derselben) vertical gerichtet sind, so führen die Spreiten photoepinastische Nachwirkungsbewegungen aus, bis sie eine horizontale Stellung erreicht haben[1]).

---

1) Weitere Literatur über die natürliche Richtung der Pflanzentheile: Frank, Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, Leipzig 1870; Darwin, Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881; Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2,

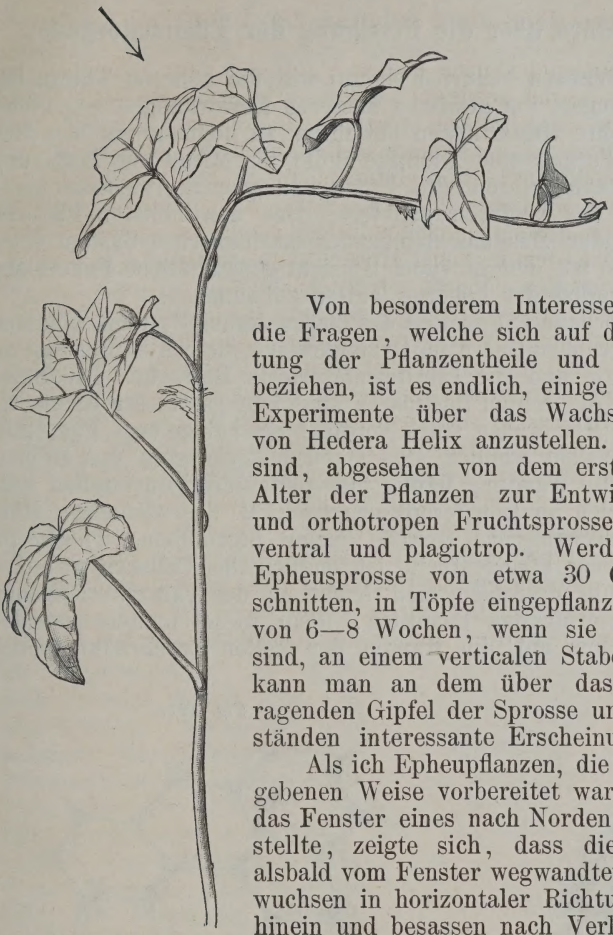


Fig. 125. Spross von Hedera Helix, dessen Gipfel sich bei einseitiger Beleuchtung von den einfallenden Lichtstrahlen weggekrümmt hat.

Von besonderem Interesse mit Rücksicht auf die Fragen, welche sich auf die natürliche Richtung der Pflanzentheile und deren Anisotropie beziehen, ist es endlich, einige Beobachtungen und Experimente über das Wachsthum der Sprosse von Hedera Helix anzustellen. Die Epheusprosse sind, abgesehen von dem erst in einem höheren Alter der Pflanzen zur Entwicklung kommenden und orthotropen Fruchtsprosse, ausgeprägt dorsiventral und plagiotrop. Werden frei schwebende Epheusprosse von etwa 30 Ctm. Länge abgeschnitten, in Töpfe eingepflanzt und nach Verlauf von 6—8 Wochen, wenn sie kräftig angewurzelt sind, an einem verticalen Stabe festgebunden, so kann man an dem über das Stabende hervorragenden Gipfel der Sprosse unter geeigneten Umständen interessante Erscheinungen wahrnehmen.

Als ich Epheupflanzen, die in der soeben angegebenen Weise vorbereitet waren, im August vor das Fenster eines nach Norden gelegenen Zimmers stellte, zeigte sich, dass die Sprossenden sich alsbald vom Fenster wegwandten. Die Gipfelenden wuchsen in horizontaler Richtung in das Zimmer hinein und besassen nach Verlauf von 4 Wochen das in Fig. 125 dargestellte Aussehen. Die Sprosse führten negativ heliotropische und photoepinastische Krümmungen aus (über den Modus der Lichteinwirkung sind übrigens noch weitere Untersuchungen anzustellen). Die Lichtseite der Sprosse musste in Folge dessen convex werden und eine Horizontalstellung der Sprossenden herbeiführen. War diese erreicht, so krümmten sich die Sprossenden nicht noch weiter nach abwärts, weil jetzt der negative Geotropismus (die geotropischen Eigenschaften der Epheusprosse sind von Sachs speciell constatirt) sein Recht energisch geltend machen konnte. Es ergiebt sich, dass die Horizontalstellung der Epheusprosse also eine Resultirende aus der richtenden Wirkung des Lichtes einer- und der Schwerkraft andererseits ist. Dieselben Momente sind auch maassgebend für die Richtung, welche die Sprosse der in der freien Natur wachsenden Epheupflanzen einschlagen.

S. 226; Vöchting, Bewegungen der Blüthen und Früchte, Bonn 1882; Noll, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, B. 3.

190. Allgemeines über die Festigung der Pflanzenorgane.

Die höheren Pflanzen bedürfen ebenso wie die höheren Thiere bestimmter Einrichtungen, um gewissen äusseren Einwirkungen gegenüber widerstehen und ihre Gestaltungen bewahren zu können. In manchen Fällen spielt der Turgor eine wichtige Rolle als Mittel zur Festigung des Organismus, aber durch die Untersuchungen Schwendener's [1]) wurde ferner noch der Nachweis geliefert, dass den höheren Pflanzen ein mehr oder minder zusammenhängendes mechanisches System (Stereom) eigenthümlich ist, dem in vieler Hinsicht ganz ähnliche Functionen wie dem Knochengerüst der höheren Thiere zukommt.

Als Elementarorgane (Stereiden) des mechanischen Systems kommen vor allem die Sklerenchymfasern im Grundgewebe, die echten Bastfasern, die Collenchymfasern und die Libriformfasern in Betracht. Die Sklerenchymzellen und die echten Bastfasern sind lang gestreckte Elemente, deren oft verholzte Membranen stark verdickt erscheinen (vgl. Fig. 126). Ihnen in vieler Hinsicht ähnlich sind die Libriformfasern des Holzes, deren stark verdickte Wandung häufig mit spaltenförmigen Tüpfeln versehen ist. Sehr reich an Libriformfasern ist z. B. das secundäre Holz von Tilia. Als mechanisches Gewebe vieler jugendlicher, noch im Wachsthum begriffener Pflanzentheile ist endlich das Collenchym anzusehen. Die Elemente desselben sind leicht an der charakteristischen Form ihrer Wandverdickung kenntlich, denn diese letztere ist der Hauptsache nach nur auf die Kanten der Zellen beschränkt (vergl. Fig. 127).

Fig. 126.

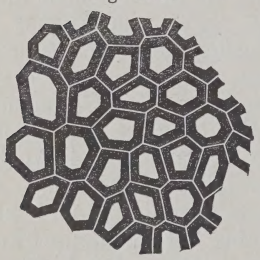


Fig. 127.

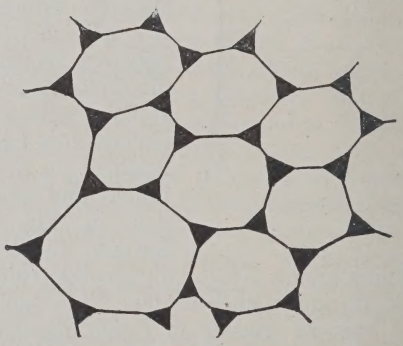


Fig. 126. Sklerenchymgewebe im Querschnitt.
Fig. 127. Collenchymgewebe im Querschnitt.

Zur Erzielung von Biegungs-, Zug- und Druckfestigkeit der Pflanzenorgane genügt nun aber keineswegs das Vorhandensein von Stereiden überhaupt, sondern dieselben müssen zugleich eine ganz bestimmte Anordnung im übrigen Gewebe besitzen.

Bei Herstellung allseitig biegungsfester Constructionen (zumal der Stengel) genügt es, wenn die mechanischen Elemente rings im Umkreis

1) Vgl. Schwendener, Das mechanische Princip im anatomischen Bau d. Monocotylen Leipzig 1874.

des Querschnittes, also peripherisch, angeordnet sind. Die Füllung zwischen den Gurtungen wird von Parenchym und anderem Gewebe gebildet. Bei vielen Organen, zumal den Blättern, die keiner allseitigen Biegungsfestigkeit bedürfen, ist das mechanische Gewebe nur auf der Ober- und Unterseite vertheilt. Zugfeste Constructionen werden im Pflanzenreiche dadurch erzielt, dass die mechanischen Elemente in den betreffenden Organen nicht peripherisch, sondern im Gegentheil central und zu einer einzigen, compacten Masse verbunden angeordnet sind (Wurzeln, Rhizome). Bei Herstellung druckfester Constructionen ist es nicht gleichgültig, ob dieselben auf einen longitudinalen Druck oder auf einen radialen Druck in Anspruch genommen werden. Einem radialen Druck sind ausser einem erheblichen Zuge namentlich die sich im Boden entwickelnden Wurzeln und Rhizome ausgesetzt; sie sind daher häufig, abgesehen von anderweitigem Stereom, mit einem peripherisch gelegenen Mantel mechanischen Gewebes ausgestattet.

Für die richtige Beurtheilung der Leistungsfähigkeit der mechanischen Gewebe im pflanzlichen Organismus ist es von Wichtigkeit, sich etwas genauer über die Festigkeit, das Tragvermögen [1]) und die Elasticitätsverhältnisse des Stereoms zu unterrichten; es kann dies mittelst des in Fig. 128 abgebildeten Apparates geschehen. Der zu untersuchende Pflanzentheil *Pf*, welcher eine Länge von 200—400 Mm. und eine Breite von etwa 2 Mm. besitzt, wird mit seinem oberen Ende zwischen zwei Brettern (*B*), die durch die Schraubstöcke *Sch* und *Sch'* zusammengehalten werden, eingespannt. Das untere Ende des Pflanzentheiles ist wieder zwischen zwei Brettchen mittelst der Zange *Z* eingeklemmt, an welcher die zur Dehnung des Untersuchungsobjectes bestimmten Gewichte in irgend einer Weise angebracht werden können.

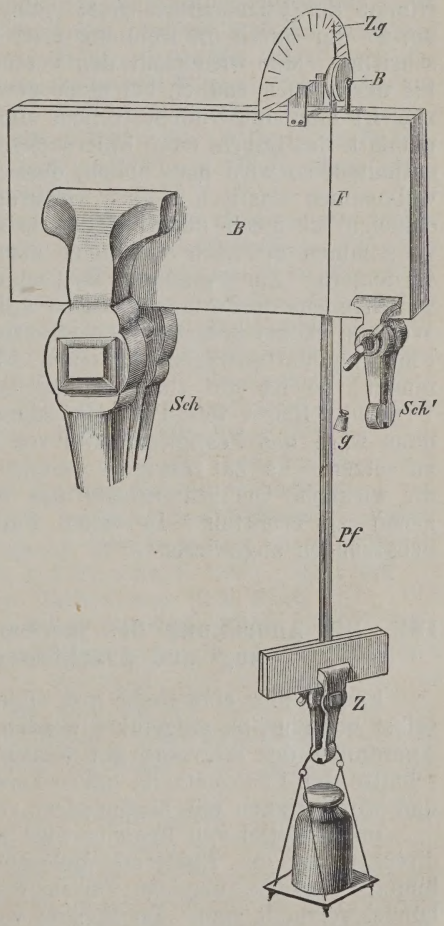


Fig. 128. Apparat zur Bestimmung des Trag- und Festigkeitmoduls von Pflanzentheilen.

1) Die auf die Flächeneinheit des Querschnittes bezogene maximale Belastung, bei welcher die Elasticitätsgrenze noch nicht überschritten ist, repräsentirt das Tragmodul. Das Festigkeitmodul stellt dann jene Belastung für die Flächeneinheit dar, bei welcher das Zerreissen erfolgt.

Zusammen mit dem Pflanzentheile klemmt man in die untere Zange noch einen Faden *F* ein. Dieser letztere geht über eine leicht bewegliche Rolle *B* und wird durch ein kleines, an seinem freien Ende befestigtes Gewicht *g* gespannt. An der Rolle ist ein Zeiger *Zg* befestigt, der die 10fache Länge des Radius der Rolle besitzt, und dessen Spitze vor einem in Mm. eingetheilten Kreisbogen spielen kann. Die in Folge der Belastung herbeigeführte Ausdehnung des Pflanzentheiles kann auf diese Weise verzehnfacht am Kreisbogen abgelesen werden.

Zur Beobachtung verwendet man zunächst zweckmässig, wie ich es auch gethan habe, einen etwa 400 Mm. langen und 2 Mm. breiten Riemen aus dem mittleren Theile des Blattes von Phormium tenax.

Ist ein solcher Riemen in den beschriebenen Apparat eingespannt worden, so dehnt man ihn durch 1 Kilo Belastung, ermittelt die Grösse der eingetretenen Dehnung und entfernt das Gewicht wieder. Nimmt der Pflanzentheil jetzt seine ursprüngliche Länge aufs Neue an, so war durch die Dehnung seine Elasticitätsgrenze noch nicht überschritten. Man wiederholt den Versuch nun mit 2,3—10 Kilo Belastung, bis der Riemen endlich bei einer gewissen Belastung zerreisst. Experimentirt man mit Gewebestreifen, die, wie diejenigen aus dem Phormiumblatt Bastfasern oder Sklerenchymfasern als mechanisches Gewebe enthalten, so wird man finden, dass sie selbst bei hoher Belastung noch vollkommen elastisch bleiben, während collenchymreiche Pflanzentheile, obgleich sie auch eine bedeutende Festigkeit besitzen, nur sehr unvollkommen elastisch sind, sich also in Folge einer Dehnung bleibend verlängern. Zur genaueren Bestimmung des Tragvermögens eines Gewebestreifens muss man dasselbe auf 1 □Mm. Stereomfläche berechnen. Wenn z. B. bei 30facher Vergrösserung das mechanische Gewebe eines Phormiumblattquerschnittes einen Flächenraum von 900 □Mm. einnimmt, so ist die thatsächliche Querschnittfläche des Stereoms = 1 □Mm. Reisst der Phormiumriemen bei 15 Kilo Belastung durch, dann wäre das Festigkeitmodul von 1 □Mm. Phormiumstereom = 15 zu setzen. Es hat übrigens häufig ganz bedeutende Schwierigkeiten, die wirkliche Querschnittfläche des Stereoms auch nur einigermaassen genau zu ermitteln. In vielen Fällen ist man hier auf ungefähre Schätzungen angewiesen[1]).

191. Die Anordnung des mechanischen Gewebes in biegungs-, zug- und druckfesten Pflanzentheilen.

Es soll hier eine Reihe von Objecten, die ich der Mehrzahl nach selbst untersuchte, aufgeführt werden, welche sich für das Studium der Anordnung des Stereoms gut eignen. Man braucht dazu nur Querschnitte der Pflanzentheile mikroskopischer Beobachtung zu unterziehen, und wir beginnen mit biegungsfest gebauten Organen.

Im Blattstiel von Begonia wird das mechanische Gewebe von einem direct unter der Epidermis gelegenen mächtigen Collenchymring gebildet. Derselbe umgiebt Parenchymgewebe, in welchem die Gefässbündel vertheilt sind. Im Stengel von Lamium album verlaufen in den vier Kanten Collenchymgurtungen, die zwei kreuzweise combinirte

1) Weitere Literatur: Ambronn in Pringsheims Jahrbüchern, Bd. 12; Haberlandt, Physiolog. Pflanzenanatomie, Leipzig, 1884, S. 96; Tschirch in Pringsheims Jahrbüchern, Bd. 16; Lukas, Sitzungsber. d. Akademie d. Wiss. zu Wien, Bd. 85.

Träger bilden. Der Querschnitt des Stengels von Falcaria rivini lässt ein grosses Mark, den Gefässbündelkreis und unter der Epidermis Collenchymstränge als mechanisches Gewebe erkennen, welches mit Assimilationsparenchym wechselt.

In den Blüthenschäften von Papaver, Armeria maritima, Lychnis viscosa und Anthericum ramosum ist das mechanische Gewebe in Form eines geschlossenen Sklerenchymrings vorhanden. Zwischen diesem und der Epidermis befindet sich grünes Gewebe, während im Innern die Gefässbündel ihren Platz haben. Bei mikroskopischer Untersuchung eines Querschnitts aus dem Halm von Juncus glaucus erblickt man unter der Epidermis grünes Gewebe und Sklerenchymbündel, welche mit jenem abwechseln. Ferner sieht man weite Luftcanäle und zahlreiche Gefässbündel mit einigen ziemlich weiten Gefässen, die auf ihrer Innen- sowie Aussenseite mit einem Bastfaserbeleg versehen sind, im Grundgewebe vertheilt. Das Bild, das man bei dem Studium eines Querschnittes aus dem Halm von Sesleria coerulea erblickt, ist leicht zu deuten, und vor allem interessiren uns hier die Bastbelege der Gefässbündel, weil sie als mechanisches Gewebe dienen. Im Halm von Molinia coerulea ist ein geschlossener Ring mechanischen Gewebes vorhanden, der noch durch subepidermale Rippen, die an ihn anschliessen, verstärkt wird. Die Gefässbündel sind jenem Ringe theils eingebettet, theils werden sie von demselben umgeben.

Von Interesse ist es auch, das mechanische Gewebe der Blattscheiden der Gräser kennen zu lernen. Diese röhrenförmigen Scheiden umfassen die Stengeltheile des Halmes, und es kommt ihnen zumal die Aufgabe zu, die zarten wachsenden Stengelregionen, welche bekanntlich bei den Gräsern an der Basis der Internodien liegen, zu schützen. Wir stellen z. B. feine Querschnitte aus dem dicht über einem jungen Knoten liegenden Theile eines Roggenhalmes her. Unter der Epidermis der Innenseite der Blattscheide erblicken wir chlorophyllfreies, unter der Epidermis der Aussenseite aber chlorophyllhaltiges Gewebe. Die Gefässbündel sind leicht zu erkennen; sie sind auf ihrer Aussen- sowie Innenseite mit mächtig entwickelten Bastfaserbelegen versehen.

Wollen wir die Anordnung des mechanischen Gewebes in nicht allseitig biegungsfest gebauten Organen kennen lernen, so stellen wir z. B. Querschnitte durch das Blatt von Phormium tenax und durch die Mittelrippe völlig ausgewachsener Blätter von Zea Mays her. Das Phormiumblatt ist in seinem oberen und unteren Theile nicht völlig gleichartig gebaut, aber auf jeden Fall werden die die Gefässbündel bedeckenden Stereombündel nach der Blattober- und Blattunterseite zu sofort in die Augen fallen. Bei Zea sind an der Blattoberseite subepidermale Sklerenchymmassen vorhanden; das mechanische Gewebe der Blattunterseite steht in genauer Beziehung zur Gruppirung der grösseren Gefässbündel.

Zug- sowie druckfest sind, wie früher schon bemerkt, zumal Rhizome und Wurzeln gebaut. Wir stellen einen Querschnitt durch das Rhizom von Carex glauca her. Der freilich nicht sehr mächtig entwickelte peripherische Sklerenchymring gewährt Schutz gegen radialen Druck. Der central gelegene, aus dickwandigen Elementen bestehende Hohlcylinder, in welchen die meisten Gefässbündel eingestreut sind (einige Gefässbündel liegen auch ausserhalb dieses Cylinders), dient zur Herstellung der Zugfestigkeit des Organs. Einer ganz ähnlichen Anordnung der mechanischen Gewebe begegnet man bei der Untersuchung

des Querschnitts aus den Nebenwurzeln erster Ordnung von Zea Mays. Der peripherische Sklerenchymring ist hier nur viel mächtiger als im Carexrhizom entwickelt [1]).

Es sei noch bemerkt, dass sich in allen Fällen, welche ich untersuchte, die Sklerenchymfasern und Bastfasern des mechanischen Gewebes bei Behandlung der Schnitte mit Phloroglucin und Salzsäure (vergl. unter 39) roth färbten, also verholzt gewesen sein mussten.

192. Die Correlationserscheinungen im Pflanzenreich.

Das Wachsthum eines Pflanzentheils übt häufig einen bestimmten Einfluss auf dasjenige anderer Theile desselben Individuums aus. Man hat in neuerer Zeit damit begonnen, den Thatsachen, welche sich auf Correlationen im Pflanzenreich beziehen, eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen, und wir wollen uns hier mit einigen dieser Thatsachen bekannt machen.

Wenn man junge Fichten (Abies excelsa) ihres Gipfeltriebes beraubt, so ergiebt sich, dass sich im Laufe von 1—3 Jahren einer oder mehrere der horizontal abstehenden Seitensprosse des obersten Quirls erheben. Einer der Seitensprosse gewinnt gewöhnlich die Oberhand; er ersetzt dann den entfernten Gipfeltrieb vollständig. Dies zeigt sich nicht allein in seinem orthotropen Wuchs, sondern auch in der Form seiner Verzweigung. Ein horizontaler Seitenspross der Fichte verzweigt sich vorwiegend in horizontaler Richtung nach rechts und links, während ein normaler Gipfeltrieb oder ein diesen ersetzender aufgerichteter Seitenspross der Fichte vier- oder fünfstrahlige Astquirle bildet. Die Versuche, welche ich anstellte, um die hier besprochene Correlationserscheinung kennen zu lernen, wurden mit im Walde wachsenden, etwa mannshohen Fichten ausgeführt [2]).

Wenn man Kartoffelknollen in einem dunkeln Raum derartig aufstellt, dass ihr Nabelende nach abwärts gewandt ist (die Knollen brauchen nicht in Erde gelegt zu werden, und man braucht ihnen auch kein Wasser zuzuführen), so findet man, dass nach kürzerer oder längerer Zeit fast nur solche Knospen austreiben, die nahe der morphologischen Spitze der Knollen stehen. Entfernt man nun aber bei einigen Untersuchungsobjecten die sich an ihrer Spitze entwickelnden Sprosse in dem Maasse, wie sie entstehen, so ergiebt sich, dass diese Operation das Austreiben tiefer stehender Augen bedingt, deren Knospen nicht oder nur in unbedeutendem Grade zur Ausbildung gelangt wären, wenn man die Sprosse an der Spitze nicht abgebrochen hätte.

Eine weitere Correlationserscheinung kann man an Keimlingen von Phaseolus multiflorus leicht constatiren. Wenn man dieselben in lockerer Gartenerde cultivirt und das Epicotyl, nachdem es einige Ctm. lang geworden ist, dicht über dem Boden abschneidet, so entwickeln sich statt des entfernten Stengeltheils die in den Achseln der Cotyledonen vorhandenen Knospen zu Sprossen, welche bald aus dem Boden hervortreten.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass sich die Stiele der Blüthenknospen fast aller Arten der Gattung Papaver in einem gewissen Entwickelungsstadium nach abwärts krümmen, eine Erscheinung, die, soweit die Untersuchungen reichen, auf Correlation beruht. Die mit ihrem Stiel

1) Man vergl. auch die unter 190 citirten Schriften, zumal Schwendener's Werk.
2) Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 612.

in organischer Verbindung befindliche Knospe übt auf denselben einen bestimmten Einfluss aus, welcher dahin führt, dass er sich stark krümmt und nach abwärts biegt. Der Beweis für das Gesagte liegt in dem Resultat des folgenden, zuerst von Vöchting [1]) ausgeführten Experiments, das ich mit gutem Erfolg unter Benutzung einer im Freien wachsenden Mohnpflanze wiederholte. Man schneidet einige Knospen von ihren Stielen ab und überlässt die letzteren nun ohne weiteres sich selbst oder befestigt in anderen Fällen die Knospen mit Hülfe feiner Seidenfäden wieder an ihren Stielen. Die Krümmung der Stiele verschwindet stets nach Verlauf einiger Zeit, und unser Versuch lehrt, dass ihr Vorhandensein keineswegs einfach Folge des Knospengewichts ist, sondern auf Correlation beruht.

In hohem Grade lehrreich ist es, mit Rücksicht auf den uns hier interessirenden Gegenstand die Eigenthümlichkeiten und das Verhalten der Knospenschuppen verschiedener Pflanzen genauer ins Auge zu fassen [2]). Bei Aesculus und Pavia sind die äusseren Schuppen der Winterknospen braun und häutig. Es folgen dann saftige, grüne, recht grosse Schuppen und endlich die Laubblätter. Die entwickelungsgeschichtliche Untersuchung lehrt schon, dass alle Knospenschuppen nichts anderes sind als auf geringen Stufen der Ausbildung zurückgebliebene Laubblätter, und zu dem nämlichen Resultat führt das folgende Experiment. Wenn man Aesculus- oder Paviasprosse gleich nach dem Austreiben der Winterknospen, ohne die Zweige von der Mutterpflanze abzutrennen, entgipfelt und ihrer Blätter beraubt, so entwickeln sich die in den Blattachseln angelegten Knospen im Laufe des Sommers zu Laubtrieben, während sie normalerweise zu Winterknospen würden. Das Merkwürdige der sich geltend machenden Correlationserscheinung besteht nun aber darin, dass die zur Ausbildung kommenden Triebe keine Knospenschuppen, sondern (so beobachtete ich es wenigstens bei meinen Experimenten) nur Zwischenformen zwischen Schuppen und Laubblättern sowie Laubblätter produciren. Die unteren Blätter der Sprosse haben kleine, aber schon gegliederte Spreiten, und diese letzteren sitzen einem grünen, schuppenartigen Blatttheile auf, während die höher stehenden Blätter die Gestalt normaler Laubblätter besitzen. Es besteht bei Aesculus und Pavia sowie auch bei andern Gewächsen demnach eine sehr ausgeprägte Correlation zwischen dem Vorhandensein resp. der Abwesenheit des Gipfels und der Blätter einerseits und der Form, in der die Entwickelung der Knospen vor sich geht, andererseits.

V. Die Variationsbewegungen der Pflanzen.

193. Experimente mit Acacia lophanta.

Variationsbewegungen, welche in den meisten Fällen unter Vermittlung von besonderen Gelenken zur Geltung kommen, sind manchen Pflanzentheilen eigenthümlich. Sie werden theils durch innere Ursachen, theils durch den Einfluss äusserer Verhältnisse (Beleuchtungswechsel, Erschütterungen) bedingt, aber alle diese Umstände rufen, was

1) Vergl. Vöchting, Die Bewegungen d. Blüthen und Früchte, Bonn 1882.
2) Vergl. Göbel, Botanische Zeitung, 1880, S. 771 u. 807.

besonders wichtig ist und wie wir weiter unten sehen werden, nur Veränderungen der Turgorzustände in den Zellen derjenigen Gewebecomplexe hervor, von denen die Bewegungen ausgehen. Eine ganze Reihe von Experimenten, zunächst solche mit Acacia lophanta, werden uns genauer mit den merkwürdigen Variationsbewegungen der Gewächse bekannt machen.

Die Blättchen des zusammengesetzten Blattes von Acacia lophanta sind horizontal ausgebreitet, wenn die Pflanze hellem diffusem Tageslicht ausgesetzt ist. Abends legen sich die Blättchen nach oben zusammen, um sich am folgenden Tage unter dem Einfluss des Lichtreizes wieder auszubreiten. Man kann die Blättchen aber auch am Tage zwingen, die Nachtstellung einzunehmen, wenn man die Untersuchungsobjecte (dieselben cultivirt man in kleinen Blumentöpfen aus Samen) in einen dunkeln Raum bringt. Nach Verlauf einer halben bis einer Stunde haben sich die Blättchen zusammengelegt, dagegen breiten sie sich wieder aus, wenn die Pflanzen aufs Neue diffusem Licht ausgesetzt werden. Die Bewegungen der Acaciablättchen sind Folge des Wechsels der Beleuchtungsverhältnisse, denn sie machen sich, wie leicht festzustellen ist, auch geltend, wenn die Temperaturverhältnisse während der angeführten Beobachtungen constant bleiben.

Ich konnte feststellen, dass die Blättchen von Acacia lophanta auch dann eine der Dunkelstellung gleiche Stellung annehmen, wenn die Pflanzen dem directen Sonnenlicht ausgesetzt werden. Eine Acacia mit ausgebreiteten Blättern wird unter einer Glasglocke ins directe Sonnenlicht gestellt. Die Blättchen haben sich alsbald zusammengelegt; sie breiten sich aber wieder horizontal aus, wenn man das Untersuchungsobject, ohne Entfernung der Glasglocke, hellem diffusem Tageslicht exponirt.

Sehr interessant ist die Thatsache, dass Exemplare der Acacia lophanta, die normalen Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt waren und nun der Einwirkung des Lichtes völlig entzogen werden, indem man sie in einen völlig dunkeln Raum (z. B. einen Schrank) stellt, dennoch fortfahren, die unter den normalen Verhältnissen in Folge des täglich wiederkehrenden Wechsels von Beleuchtung und Verdunkelung inducirten periodischen Bewegungen der Blätter auszuführen. Ein besonders lebenskräftiges, in einem kleinen Blumentopf wachsendes Exemplar von Acacia lophanta, welches ich in constanter Dunkelheit hielt, breitete vier Tage lang seine Blättchen zur Tageszeit aus und legte dieselben zur Nachtzeit zusammen; freilich nahm die Amplitude der Bewegung allmählich ab, und nach 4 Tagen hörte die Nachwirkungsbewegung völlig auf; die Blättchen waren jetzt dunkelstarr geworden, und zwar zeigten die Blättchen der älteren Blätter nunmehr eine horizontale Stellung, während diejenigen der jüngeren Blätter mehr oder minder nach oben zusammengelegt erschienen. Als die Pflanze wieder normalen Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt wurde, kehrte der phototonische Zustand der Blättchen zurück, d. h. dieselben reagirten aufs Neue auf den Wechsel von Tag und Nacht. Will man die periodischen Nachwirkungsbewegungen, wie sie an den Blättchen solcher Acaciaexemplare auftreten, die zunächst normalen Lebensbedingungen ausgesetzt waren und dann in constante Finsterniss gelangt sind, genauer verfolgen, so verfährt man dabei nach Pfeffer's Vorgange in folgender Weise. Man verfertigt sich aus steifem Papier eine ganze Anzahl Dreiecke, die verschiedene, aber bekannte Winkelgrösse besitzen. Es genügt, wenn jedes

folgende Dreieck von dem vorhergehenden um 10 Grad differirt. Diese Dreiecke werden zur Bestimmung der Neigung der Blättchen gegen einander zwischen dieselben gehalten, und indem man die Untersuchungen an einem bestimmten Blatte der im Dunkeln verweilenden Acaciapflanzen im Laufe eines Tages recht oft (z. B. alle zwei Stunden) wiederholt, gelangt man zu genauer Kenntniss des Verlaufs der periodischen Nachwirkungsbewegungen[1]).

194. Experimente mit Phaseolus multiflorus.

An den Blättern von Phaseolus sind ebenso wie an denjenigen von Acacia lophanta periodische Bewegungen zu beobachten, die in Folge des täglich wiederkehrenden Beleuchtungswechsels auftreten. Der Hauptblattstiel hebt sich abends und senkt sich morgens, während die drei Einzelblättchen (vgl. die nebenstehenden Abbildungen Fig. 129 u. 130)

Fig. 129.

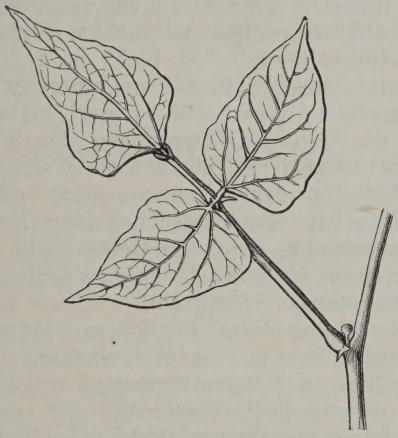


Fig. 130.

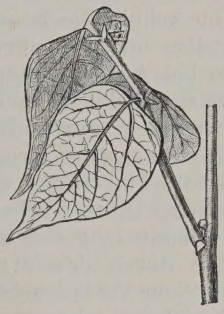


Fig. 129. Blatt von Phaseolus multiflorus in Tagesstellung.
Fig. 130. Blatt von Phaseolus multiflorus in Nachtstellung.

unter dem Einfluss des Lichtes eine nahezu horizontale Stellung annehmen, sich in Folge von Lichtmangel aber nach unten zusammenlegen. Die Blättchen von Phaseolus lassen auch periodische Nachwirkungsbewegungen erkennen, wenn die zunächst unter normalen Verhältnissen erwachsenen Pflanzen später constanter Dunkelheit ausgesetzt werden. Zu den bezüglichen Beobachtungen benutze man kräftige, in Blumentöpfen cultivirte Pflanzen. Bei Versuchen, die ich anstellte, gingen die periodischen Nachwirkungsbewegungen mehrere Tage lang, freilich mit sich vermindernder Amplitude, fort. Schliesslich wurden die Blätter dunkelstarr, in welchem Zustande sie horizontal ausgebreitet erschienen. Aufs Neue normalen Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt, kehrten die jüngeren Blätter alsbald wieder in den phototonischen Zustand zurück; die ältern reagirten offenbar weit weniger energisch auf den Lichtreiz.

Bei dem Zustandekommen der periodischen Bewegungen nicht völlig ausgewachsener Phaseolusblätter spielen freilich Wachsthumsvorgänge

1) Vgl. Pfeffer, Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, Leipzig 1875.

eine gewisse Rolle. Die Bewegungen ausgewachsener Bohnenblätter werden aber, ebenso wie es bei vielen anderen Pflanzen (Mimosa, Oxalis etc.) der Fall ist, lediglich durch Veränderungen von Turgorverhältnissen bedingt. Und zwar machen sich diese die Bewegungen vermittelnden Veränderungen in den Gelenken der Blätter (dem Gelenk des Hauptblattstieles sowie den Gelenken der drei Blättchen) geltend. Es ist lehrreich, den anatomischen Bau der Gelenke mit demjenigen des übrigen Gewebes der Blattstiele zu vergleichen. Untersucht man Querschnitte des grossen Gelenkes an der Basis des Hauptblattstieles von Phaseolus, so fällt namentlich auf, dass unter der mit Haaren besetzten Epidermis ein sehr mächtig entwickeltes Parenchym vorhanden ist, dessen Zellen auf der Gelenkober- und Unterseite nahezu die gleiche Beschaffenheit besitzen. Ziemlich in der Mitte des Querschnitts beobachtet man eine Anzahl von Gefässbündeln, welche das Mark umgeben. Bei mikroskopischer Untersuchung eines Querschnitts aus der Mitte des Hauptblattstieles der Bohne fällt sofort auf, dass das Rindengewebe, welches im Gelenk eine so bedeutende Ausbildung erfahren hat, hier nur relativ schwach entwickelt, übrigens als Collenchym (in den vorspringenden Kanten) und als gewöhnliches Rindenparenchym vorhanden ist. Die das Mark umgebenden Gefässbündel sind nicht in der Mitte des Querschnitts zusammengedrängt, sondern liegen mehr peripherisch. Die Zellen des Gelenkrindenparenchyms vermitteln bei der Bohne und ebenso bei Acacia, Mimosa etc. die Variationsbewegungen der Blätter, und zwar werden dieselben, wie schon bemerkt, nicht durch Wachsthum, sondern allein durch Turgorverhältnisse hervorgerufen, wenn man es mit ausgewachsenen Organen zu thun hat, eine Thatsache, deren Richtigkeit sofort klar wird, wenn man bedenkt, dass die Gelenke die nach Vollendung ihres Wachsthums erlangte Grösse beibehalten, obgleich sie noch Monate lang Bewegungen der Blätter vermitteln.

Die durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse inducirten periodischen Variationsbewegungen kommen nun dadurch zu Stande, dass das Rindenparenchym der Gelenke auf zwei gegenüberliegenden Seiten in Folge von Turgorschwankungen verschiedene Verlängerungen erfährt. So z. B. tritt die abendliche Senkung der Einzelblättchen des Bohnenblatts ein, weil die Zellen des Parenchyms der Oberseite der Gelenke stärker turgesciren als diejenigen der antagonistischen Seite, und dadurch eine convexe Krümmung der Gelenkoberseite bewirkt wird.

Ein wichtiger hier in Betracht kommender Factor wird aber erst durch folgenden Versuch klargestellt. Von einer in einem Blumentopf cultivirten Bohnenpflanze entfernt man gegen Abend mit Hülfe eines sehr scharfen Messers die obere Gelenkhälfte am Endblatt eines der gedreiten Blätter. Tritt die Dunkelheit ein, so senken sich die Seitenblättchen wie gewöhnlich, das operirte Blatt hebt sich aber, und ich fand dasselbe z. B. bei einem im Juli angestellten Versuch (die Operation war um 5 Uhr Abends vorgenommen und die Pflanze dann an einen schlecht beleuchteten Ort gestellt) um 11 Uhr nachts fast gerade aufgerichtet. Am nächsten Morgen hatte sich das Endblatt in meinem Experiment wieder gesenkt. Daraus folgt, dass die abendliche Stellungsänderung solcher Blätter, die mit Variationsbewegung begabt sind, nicht dadurch zu Stande kommt, dass nur der Turgor der Zellen der einen der antagonistischen Gelenkhälften (in unserm Falle der oberen) durch Dunkelheit erhöht wird. Vielmehr steigert Finsterniss den Turgor sämmtlicher Zellen des Parenchymmantels im Gelenk, während Lichtzutritt ihn

herabsetzt, aber diese Steigerung respect. Erniedrigung des Turgors geht in den antagonistischen Gelenkhälften nicht mit der gleichen Geschwindigkeit vor sich. In den Gelenken der Bohnenblättchen wächst der Turgor z. B. in den Zellen der oberen Hälfte derselben schneller als in denjenigen der unteren; daher wenden sich die Blättchen abwärts. Dass aber der Turgor zugleich in der unteren Gelenkhälfte zunimmt, lehrt das Resultat unseres Experiments; denn würde dies nicht geschehen sein, so hätte sich das operirte Blatt nicht am Abend erheben können.

Es mögen hier noch einige Versuche angeführt werden, welche lehren, dass die Bewegungsgelenke der Bohnen — und ihnen ähnlich verhalten sich auch diejenigen anderer Pflanzen — geotropisch empfindlich sind. Wird ein in einem Blumentopf cultivirtes Exemplar von Phaseolus in umgekehrte Lage gebracht, so erheben sich die Blätter, indem die an der Basis der Blattstiele vorhandenen Gelenke eine energische geotropische Krümmung erfahren, alsbald wieder. Bringt man die Pflanze jetzt in aufrechte Stellung zurück, so gewinnen die Blätter im Laufe eines Tages ihre normale Lage aufs Neue. Hat eine Bohnenpflanze mehrere Tage in umgekehrter Stellung verweilt, und wird sie dann aufgerichtet, so kehren die Blätter sehr langsam oder gar nicht wieder in die normale Lage zurück, weil die geotropische Krümmung der Blattgelenke jetzt durch Wachsthumsprocesse fixirt ist.

195. Experimente mit Mimosa pudica und anderen Pflanzen.

Die Blätter von Mimosa pudica führen sowohl in Folge von Erschütterung oder Berührung als auch in Folge des Wechsels der Beleuchtungsverhältnisse Bewegungen aus, welche durch die Gelenke der primären sowie der secundären Blattstiele und der Einzelblättchen vermittelt werden. Bei der Cultur der Pflanzen, die man zweckmässig in Blumentöpfen vornimmt, ist darauf zu achten, dass die sich aus den Samen entwickelnden Pflanzen möglichst hoher Temperatur (20—25° C.) ausgesetzt sind, und dass ihnen reichliche Wassermengen zur Disposition stehen. Das letztere erreicht man bei Culturen, die in einem gewöhnlichen Zimmer vorgenommen werden, dadurch am besten, dass man über die Culturgefässe, bald nachdem die Pflanzen über die Erde hervorgekommen sind, grosse Glasglocken stülpt, natürlich ohne die Luftcirculation all zu sehr zu behindern. Bei kräftigen Pflanzen ist der Hauptblattstiel am Tage mehr oder minder nach aufwärts gerichtet, die Blättchen sind ausgebreitet. Verdunkelt man eine Pflanze plötzlich am Tage, indem man über die Glasglocke, unter welcher sie sich befindet, einen Pappkasten deckt, so heben sich die Hauptblattstiele nicht unwesentlich, so dass der Winkel, den sie mit dem Stengel bilden, spitzer wird, und die Blättchen legen sich nach oben zusammen. Werden Mimosapflanzen unter Glasglocken am Tage unberührt dem Einflusse des Lichts überlassen, so zeigt sich, dass sich die Blättchen gegen Abend zusammenlegen, und dass die Hauptblattstiele sich mit eintretender Dunkelheit senken. Plötzliche Verdunkelung am Tage einer- und die normale abendliche Verdunkelung andererseits wirken also gleichsinnig auf die Blättchen, ungleichartig aber auf die Hauptblattstiele der Mimosa pudica ein [1]).

Werden zunächst unter normalen Verhältnissen cultivirte Mimosa-

1) Ueber die Ursachen dieser complicirten Erscheinungen vergl. Pfeffer, Die periodischen Bewegungen etc., 1875, S. 74.

pflanzen in hinreichend feuchter Atmosphäre constanter Finsterniss ausgesetzt, so machen sich, wie bei Acacia und Phaseolus, nach einiger Zeit Nachwirkungsbewegungen der Blätter geltend, d. h. die Blättchen sind zur Tageszeit ausgebreitet, zur Nachtzeit zusammengelegt. Allmählich hören diese Bewegungen auf, und es ist auch die Fähigkeit der Blätter verschwunden, auf Erschütterung oder Berührung zu reagiren. Bei der Beobachtung ins Dunkle gestellter Mimosapflanzen ist übrigens darauf zu achten, dass die Blätter verschiedenen Alters einer Pflanze sich nicht gleichartig verhalten. Wenn die täglichen periodischen Nachwirkungsbewegungen nicht mehr stattfinden, so erscheinen die dunkelstarren Blätter nicht in der normalen Nachtstellung, sondern im Gegentheil, der Hauptblattstiel dunkelstarrer Blätter hat eine nahezu horizontale Stellung, und die Blättchen sind ausgebreitet. Wird die Pflanze jetzt kurze Zeit beleuchtet und dann wieder ins Dunkle gebracht, so reagirt sie noch nicht auf den Beleuchtungswechsel und auf Erschütterungen oder Berührung; ihre Blättchen schlagen sich nicht zusammen. Die Pflanze ist noch dunkelstarr. Der phototonische Zustand tritt erst nach länger dauernder Beleuchtung wieder ein, und zwar gewinnt die Mimose zunächst ihre Fähigkeit wieder, auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse zu reagiren; später kehrt auch der Zustand zurück, in welchem sie für Erschütterung oder Berührung empfindlich ist. Ich hielt eine Mimosa pudica (*a*) vom 16. bis 21. August $7^1/_2$ Uhr abends bei etwa 20° C. im Finstern. Am Abend des 21. August waren alle Blätter bis auf die beiden jüngsten völlig dunkelstarr. Die Pflanze *a* wurde jetzt mit einer anderen (*b*), die normalen Beleuchtungsbedingungen ausgesetzt worden war, an ein Fenster gestellt. Am 22. August konnte das Licht von Sonnenaufgang bis um 10 Uhr auf beide Pflanzen einwirken; sie wurden dann beide ins Finstere gestellt, aber während die Blättchen von *b* sich schlossen, blieben diejenigen von *a* ausgebreitet. Die Blätter der Pflanze *a* reagirten auch noch nicht auf Erschütterung oder Berührung; sie waren noch dunkelstarr. Nach der eine halbe Stunde dauernden Verdunkelung gelangten beide Pflanzen wieder ans Licht. Am Abend des 22. August legten sich einige Blättchen der Pflanze *a* zusammen, und am 23. August kehrte auch die Reizbarkeit für Berührung sowie eine recht energische Schliessungsbewegung der Blättchen am Abend zurück. Uebrigens waren viele Blättchen der Pflanze *a* während der letzten Tage des Versuchs gelb geworden und abgefallen.

Werden Exemplare von Trifolium pratense im Freien beobachtet oder werden Pflanzen ins Auge gefasst, die man in Töpfen aus Samen erzogen hat, so ergiebt sich, dass sich die Blättchen, während dieselben am Tage ausgebreitet sind, abends nach oben zusammenlegen. Die Blättchen von Oxalis Acetosella legen sich hingegen abends nach abwärts zusammen.

196. Die durch Erschütterung oder Berührung hervorgerufenen Variationsbewegungen von Mimosa pudica.

Die Mimosa pudica ist nur bei ziemlich hoher Temperatur und hinreichendem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens sowie der umgebenden Luft in bedeutsamerer Weise reizbar. Werden aber unter solchen Umständen in Töpfen aus Samen erzogene Mimosaexemplare, ohne dass man die Pflanze selbst berührt, erschüttert, so macht sich eine auffallende Reizwirkung geltend. Die Hauptblattstiele senken sich, die secundären

Blattstiele nähern sich einander, und die Blättchen legen sich nach vorn und oben zusammen (vergl. Fig. 131). Diese Bewegungen werden sämmtlich durch Gelenke vermittelt, welche an der Basis der Blattstiele sowie Einzelblättchen sitzen und einen ähnlichen Bau wie diejenigen

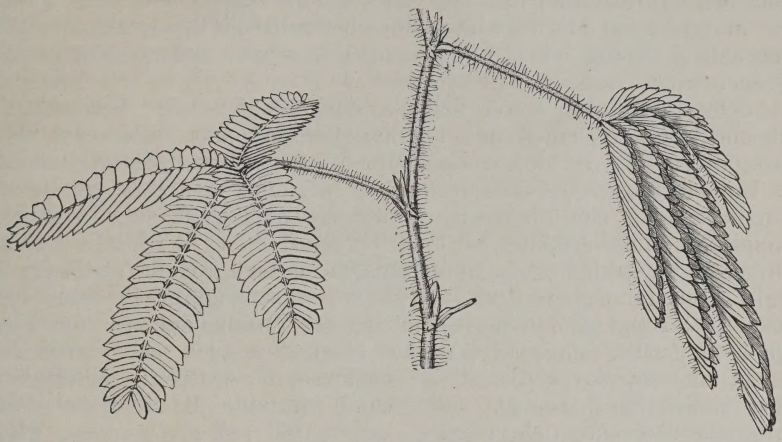


Fig. 131. Theil eines Sprosses von Mimosa pudica. Das Blatt links ist im ungereizten Zustande, das Blatt rechts im gereizten Zustande dargestellt.

der Phaseolusblätter besitzen. Man kann die Mimosa aber nicht nur durch Erschütterungen, sondern ebenso durch Berührungen zu Bewegungen veranlassen. Wird die Oberseite des grossen Gelenkes an der Basis des primären Blattstiels vorsichtig berührt, so erfolgt freilich keine Bewegung; dieselbe tritt aber sofort ein, wenn man die Unterseite in der nämlichen Weise reizt. Danach reagirt also nur die Gelenkunterseite auf Stossreiz; ihre Zellen verlieren Wasser (wahrscheinlich dadurch, dass ihr Protoplasma in Folge des Reizes filtrationsfähig für Wasser wird), und indem sie sich contrahiren, ferner aber auch das stark positiv gespannte Parenchym der Gelenkoberseite mitwirkt, kommt eine energische, nach abwärts gerichtete Bewegung des primären Blattstiels zu Stande. Den Wasserverlust des Gelenkes in Folge einer Reizung und die Existenz von Spannungsverhältnissen im Gelenk kann man in folgender Weise demonstriren.

Der primäre Blattstiel wird durch einen scharfen Schnitt vom Gelenk abgetrennt, und die Mimosa jetzt einige Zeit unter einer Glasglocke im dampfgesättigten Raum belassen. Wird das Gelenk, nachdem es sich einigermaassen erholt hat, gereizt, so senkt es sich, und es tritt Wasser aus der Schnittfläche hervor. In der unversehrten Pflanze wird das Wasser aus dem Gelenk zumal in den Stengel oder Blattstiel befördert, aber es muss auf jeden Fall eine Erschlaffung (Turgorabnahme) des Parenchyms der Gelenkunterseite in Folge dieses Flüssigkeitsverlustes der Zellen eintreten. Schneidet man eins der grossen Gelenke, ohne dasselbe von seinem Blattstiel zu befreien, hart an der Sprossaxe weg, so krümmt es sich natürlich in Folge des Reizes in bekannter Weise. Trennt man nun durch zwei Längsschnitte das obere und untere Parenchym des Gelenkes vom Fibrovasalkörper ab, so krümmt sich jenes stark abwärts, dieses schwach aufwärts. Wird das so präparirte, sich noch mit dem Blattstiel im Zusammenhange befindende Bewegungs-

organ in Wasser gelegt, dann erfährt die Krümmung des oberen Parenchyms, insbesondere aber die nach aufwärts gerichtete Krümmung des unteren, indem die Zellen desselben wieder turgescent werden, eine wesentliche Steigerung. Die isolirten Parenchymlamellen übertreffen auch den Fibrovasalkörper des Gelenkes an Länge, und alles beweist, dass in unverletzten Bewegungsorganen beträchtliche Spannungen zwischen dem axilen Strang einer- und dem Parenchym andererseits bestehen müssen.

Sehr lehrreich ist der folgende einfache Versuch. Man schneidet mit einer Scheere eines der kleinen Blättchen am Ende eines secundären Blattstieles recht reizbarer Mimosapflanzen vorsichtig, und ohne das Untersuchungsobject zu erschüttern, ab, oder man reizt ein Mimosablättchen, indem man die mit Hülfe einer Sammellinse in einen Brennpunkt vereinigten Sonnenstrahlen auf dasselbe fallen lässt. Es macht sich nun eine durch Wasserbewegung in der Pflanze bedingte Reizfortpflanzung geltend. Von der Spitze nach der Basis des secundären Blattstiels vorrückend, bedingt die Reizfortpflanzung ein Zusammenlegen immer entfernter stehender Blattpaare, darauf legen sich auch die Blättchen benachbarter secundärer Blattstiele (zunächst die unteren, weiterhin die höher stehenden) zusammen, ja es kann sogar eine Senkung des Hauptblattstiels und eine Uebertragung des Reizes auf ganz andere Blätter des Untersuchungsobjectes erfolgen. Hat die Fortleitung des Reizes aufgehört, und werden keine weiteren Bewegungen ausgelöst, so kehren die Blätter nach einigen Minuten wieder in ihre Ruhelage zurück [1]).

197. Beobachtung weiterer durch Erschütterung und Berührung hervorgerufener Variationsbewegungen.

Die Einzelblättchen von Oxalis Acetosella, einer Pflanze, die häufig in feuchten Wäldern angetroffen wird, sind mit Gelenken versehen und reagiren auf Berührung oder Erschütterung. Wird der Hauptblattstiel erschüttert, so ist die eintretende Reizbewegung der Blättchen (Senkung derselben) deutlich zu verfolgen, aber es müssen viele Stösse auf den gemeinschaftlichen Blattstiel ausgeübt werden, um die maximale Senkung der Blättchen hervorzurufen, während die volle Reizbewegung bei Mimosa pudica schon in Folge einer einzigen schwachen Erschütterung eintritt.

Sehr reizbar sind, wovon ich mich mehrfach überzeugte, die Narbenlappen von Martynia (Gesneraceae). Wird die Innenseite der Narbenlappen berührt, so legen sich dieselben sofort zusammen. Ebenso reagiren die Narbenlappen von Mimulus (z. B. M. cardinalis) auf Berührung.

Die fünf Filamente der Cynareen sind mit ihrer Basis an der Blumenkronenröhre befestigt. Die Antheren sind zu einer Röhre verklebt, durch welche der Griffel hindurchwächst. Zur Zeit der Pollenreife sind die Filamente reizbar, und während sie in ungereiztem Zustande convex nach aussen gebogen erscheinen, strecken sie sich in Folge einer Erschütterung oder Berührung unter Verkürzung gerade. Gelenke fehlen den Filamenten; ihr gesammtes, das axile Gefässbündel umgebende Parenchym ist vielmehr reizbar und verliert, wenn eine Reizursache auf dasselbe einwirkt, in Folge von Wasserabgabe bedeutend an Expansionskraft, wodurch die Contraction hervorgerufen wird. Will man sich

1) Vergl. Pfeffer, Physiologische Untersuchungen, 1873 und Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 787.

von der Reizbarkeit der Cynareenfilamente überzeugen, so verwendet man zweckmässig Blüthen von Centaurea jacea zu den bezüglichen Experimenten. Man isolirt einzelne Blüthen aus dem Blüthenköpfchen, schneidet die Corolle, Filamente und den Griffel etwas über der Insertion der Staubgefässe quer durch und befestigt den befreiten Sexualapparat mit Hülfe einer Nadel auf einem Kork. Derselbe wird unter eine Glasglocke in wasserdampfreiche Luft gebracht. Haben sich die Präparate erholt, so sind sie reizempfänglich. Die freien Filamente krümmen sich in Folge von Berührungen und erlangen nach ausgeführten Bewegungen ihre Reizbarkeit unter günstigen äusseren Verhältnissen in einigen Minuten wieder.

198. Die spontanen Variationsbewegungen.

Spontane Variationsbewegungen lassen sich an den mit Gelenken versehenen Blättern verschiedener Pflanzen (Mimosa, Oxalis, Trifolium) beobachten und kommen dadurch zu Stande, dass die Turgorausdehnung der Zellen der antagonistischen Gelenktheile aus inneren Ursachen Schwankungen erfährt. Wir wählen, um uns über die spontanen Variationsbewegungen zu orientiren, Trifolium pratense als Untersuchungsobject und cultiviren die Pflanze aus Samen in einem Blumentopfe. Haben sich die Pflanzen schon ziemlich weit entwickelt, so ist es zweckmässig, die schwächlichen Individuen zu beseitigen und nur einige kräftige zur Beobachtung stehen zu lassen.

Es ist schon erwähnt worden, dass die Blätter von Trifolium recht energisch durch Bewegungen auf den Wechsel von Beleuchtungsverhältnissen reagiren. Um diese Bewegungen möglichst auszuschliessen, bringen wir den Blumentopf mit den Trifoliumexemplaren in einen dunkeln Schrank oder unter einen Pappkasten und lassen die Pflanzen auch am nächsten Tage, an welchem die eigentlichen Beobachtungen beginnen sollen, im Finstern stehen. Von Zeit zu Zeit, etwa alle halbe Stunde, bestimmen wir die Stellung gewisser Kleeblättchen, und zwar ist es am zweckmässigsten, die jeweilige Lage derselben durch Aufzeichnen zu fixiren. Zahlreiche Versuche, die ich bei einer Temperatur von etwa 18 ° C. ausführte, ergaben mir, dass die Blättchen von Trifolium pratense im Finstern auf- und abgehende Bewegungen ausführen, deren Amplitude oft weniger, oft mehr als 90 ° betrug. Zur Vollendung einer vollen Schwingung waren einige Stunden erforderlich.

199. Der Einfluss äusserer Verhältnisse auf einige Variationsbewegungen.

Auf die Beeinflussung der Variationsbewegungen durch äussere Verhältnisse ist schon mehrfach hingewiesen worden. Hier mögen weitere Angaben folgen. Um den Einfluss von Aether- oder Chloroformdämpfen auf die Gelenke von Mimosa pudica festzustellen, verfährt man nach meiner Erfahrung am zweckmässigsten in der nachstehend angegebenen Weise. Ein abgeschnittenes Blatt, dessen Blättchen in Folge eines schwachen Reizes zum Zusammenlegen gebracht worden sind, wird mit seinem Stiel in ein kleines, Wasser enthaltendes Glas gestellt. Dieses Glas steht auf einem Teller, in den man Aether oder Chloroform gegossen hat. Nach Ueberdeckung des Tellers mit einer Glasglocke wird das Untersuchungsobject dem directen Sonnenlicht ausgesetzt. Während

der einige Minuten dauernden Narcose breiten sich die Blättchen vollkommen aus; sie reagiren jetzt aber nicht auf Berührung oder Erschütterung. Der reizbare Zustand kehrt indessen zurück, wenn man das Mimosablatt in eine äther- und chloroformfreie, aber wasserdampfreiche Atmosphäre bringt.

Sehr lehrreich ist der folgende Versuch. Die Unterseite des Gelenkes am Hauptblattstiel einer Mimose wird mit Hülfe eines kleinen Holzstäbchens wiederholt und in kurzen Intervallen gereizt. (Bei meinen Versuchen wurde die Reizung in Intervallen von je einer halben Minute 5 oder 6 Minuten lang fortgesetzt, und der Gelenkunterseite wurden stets nach einer halben Minute mehrere Stösse ertheilt.) Wird die Pflanze unter einer Glasglocke sich selbst überlassen, so erhebt sich der gesenkte Hauptblattstiel in einigen Minuten, aber trotzdem reagirt das Gelenk jetzt nicht auf Berührung. Das durch oft wiederholte Berührung für neuen Reiz unempfindlich gewordene Bewegungsorgan erlangt den reizbaren Zustand übrigens nach Verlauf kurzer Zeit wieder. Die Thatsache, dass die nach aufgehobener Narcose mit Aether oder Chloroform ausgebreiteten Mimosablättchen, und dass die nach Sistirung von Stössen emporgehobenen Hauptblattstiele von Mimosa nicht sofort, sondern erst nach einiger Zeit wieder reizbar sind, beansprucht besonderes Interesse. Sie lehrt nämlich, dass die Ursachen, welche die Rückkehr der Mimosablatttheile auf den reizempfänglichen Zustand einer- und andererseits die Reizbarkeit selbst bedingen, nicht durchaus die gleichen sein können.

Wird die Erde, in welcher eine Mimose wurzelt, längere Zeit nicht begossen, das Untersuchungsobject sonst aber normalen Lebensbedingungen ausgesetzt, so nimmt in Folge des eintretenden Wassermangels die Reactionsfähigkeit der Blättchen für Erschütterung oder Berührung mehr und mehr ab. Bei einem von mir bei etwa 20° C. angestellten Versuch trat nach 4 Tagen eine völlige Unempfindlichkeit der Mimosablättchen für Berührung ein. Die im Zustande der Trockenstarre verharrenden Blättchen sind ausgebreitet, erscheinen aber noch keineswegs immer welk und erlangen ihre Reizbarkeit wieder, wenn der Pflanze aufs Neue reichliche Wassermengen zugeführt werden.

Wird eine Mimose einer Temperatur unter 15° C. (z. B. 10° C.) einige Stunden lang ausgesetzt, so geht die Pflanze in den Zustand der vorübergehenden Kältestarre über. Die Empfindlichkeit für Berührung sowie für den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse verschwindet. Der normale, reactionsfähige Zustand kehrt aber zurück, wenn man das Untersuchungsobject wieder in einen Raum bringt, in welchem eine Temperatur über 15° C. herrscht.

Handelt es sich darum, Mimosen in den Zustand der vorübergehenden Wärmestarre zu versetzen, so bringe man die Pflanzen in einen geeigneten Thermostaten, in welchem eine Temperatur von 40° C. herrscht. Nach etwa einer Stunde (bei 45° C. in viel kürzerer Zeit) ist der erwähnte Zustand des Untersuchungsobjectes eingetreten. Die Blättchen haben sich selbst bei Lichtzutritt nach aufwärts zusammengelegt. Günstige Temperaturverhältnisse rufen den normalen Zustand der Mimose in einigen Stunden zurück.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 360